

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE
KARIESTHEORIE (KORROSIONSTHEORIE)
NACH RHEINWALD

von

MECHTHILD ~~SCHLUBKOWSKI~~

1960



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554226_0025

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. Dr. M. Herrmann)
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE
KARIESTHEORIE (KORROSIONSTHEORIE)
NACH RHEINWALD

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität
zu Mainz

vorgelegt von

MECHTHILD SCHLUBKOWSKI

Zahnärztin aus Mainz

Mainz 1960

Dekan: Professor Dr. Dr. M. Herrmann

Referent: Professor Dr. Dr. M. Herrmann

Correferent: Professor Dr. phil. Dr. ing. W. Herzog

Tag der mündlichen Prüfung: 22.6.1960

Datum des Diploms 22. JUNI 1960



GESAMTHERSTELLUNG:

DITTERS BÜRODIENST, MAINZ, Augustinerstraße 64-66

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

I. EINLEITUNG	1
II. THEORETISCHER TEIL: Kariestheorien	
a) W. D. MILLER	2
aa) Kausale Momente	2
bb) Konditionale Momente	4
b) CZERNYEI	10
c) EGGERS-LURA	10
d) FORSHUFVUD	10
e) GOTTLIEB	10
f) RHEINWALD	10
aa) RHEINWALDs Versuchsanordnung	12
bb) RHEINWALDs Versuchsergebnisse	13
g) Schlußbetrachtung	15
III. EXPERIMENTELLER TEIL:	
1. Versuchsanordnung	15
2. Vorbedingungen zur Versuchsreihe	16
3. Versuchsverlauf an kariesfreien Zähnen in dem Elektrolyten NaCl:	17
a) Messung der Stromstärke	17
b) Angabe der gemessenen pH-Werte	18
c) Verfahren der Phosphorbestimmung	19
d) Verfahren der Kalziumbestimmung	20
e) Ergebnis der Mineralbestimmung	21
f) Gewichtsbestimmung	23
g) Ergebnisse der makroskopischen Untersuchung der Zähne .	23
4. Versuchsverlauf an kariesfreien Zähnen in Speichel und Strom:	24
a) Messung der Stromstärke	24
b) Ergebnisse der makroskopischen Untersuchung der Zähne .	25
5. Versuchsverlauf an kariesfreien Zähnen in Speichel und Glukose im Brutschrank:	25
a) Versuchsergebnis	26
6. Histologische Versuchsergebnisse	26
a) Untersuchung der "NaCl-Zähne"	26
b) Untersuchung der "Speichel-Zähne"	26
c) Untersuchung der "Brutschrank-Zähne"	26

	Seite
IV. PHYSIKALISCHE ERLÄUTERUNGEN	27
V. POLARISATIONSVERSUCH	29
a) Apparatur	29
b) Versuchsverlauf	30
VI. DISKUSSION	30
VII. ZUSAMMENFASSUNG	35
VIII. LITERATURVERZEICHNIS	38

I. EINLEITUNG

Die vielen Untersuchungen und die mannigfaltigen Theorien über das Entstehen von Karies sind ein Beweis dafür, daß das Kariesproblem noch nicht endgültig geklärt ist. Die Wichtigkeit dieses Problems, das in die Bereiche der allgemeinen Erkrankungen eingreift, zeigt uns das Bild der häufig auftretenden Herdinfektionen mit nachfolgenden Schädigungen des Gesamtorganismus. Abgesehen von kosmetischen und kaufunktionellen Störungen und den daraus entstehenden Verdauungsschäden ergibt allein die Herdinfektion genügend Anlaß zur Ursachenerforschung und Bekämpfung der Karies.

Die Geschichte unseres Fachgebietes zeigt, daß die "Zahnfäule" schon in früheren Jahrhunderten ein Problem darstellte, was zu vielen Überlegungen über Wesen und Behandlung der Zahnkaries führte. So glaubten z.B. die ÄGYPTER, die Ursache des Zahnschmerzes "im Fressen des Blutes im Zahn" zu sehen; BABYLONIER und CHINESEN erklärten das Zustandekommen der Karies mit dem Auftreten eines im Zahn fressenden Wurmes. HIPPOKRATES (24) gibt folgende Erklärung: "Die Schmerzen entstehen, sobald der Schleim bis zu den Zahnwurzeln dringt. Die Zähne werden, wenn sie von Natur schwach, hohl und im Zahnfleisch schlecht befestigt sind, teils durch den Schleim, teils durch die Speisen an- und durchgefressen." Den üblen Mundgeruch versuchte er durch ein Zahnpulver, bestehend aus einem gebrannten Hasenkopf und drei Mäusen, sowie durch einen aromatischen Weingauß zu bekämpfen. SCRIBONIUS (24) glaubte, durch Räucherung die in den Zähnen vorhandenen Würmer zu beseitigen. Ausfeilungen kariöser Substanz wurden schon damals vorgenommen. Im 18. Jahrhundert gab FAUCHARD zum erstenmal eine ausführliche Beschreibung über Reinigen und Füllen von Zähnen.

II. THEORETISCHER TEIL: KARIESTHEORIEN

Die ständige Karieszunahme veranlaßte viele Autoren, nach der Ursache der Erkrankung zu forschen, um der Karies erfolgreich entgegenarbeiten zu können.

a) W. D. MILLER

Nach MILLER (1) kommt es durch die Einwirkung von Bakterien (Säurebildner) auf Kohlenhydrate (retinierte Speisereste) zur Säurebildung, die eine Entkalkung der Zahnhartsubstanz hervorruft.

EULER (2) faßt die für das Entstehen von Karies wichtigen MILLERschen Faktoren wie folgt zusammen:

aa) Kausale Momente

- a) Kohlenhydrate
- b) Bakterien (Säurebildner)
- c) Säuren

a) Kohlenhydrate

An retinierten Speiseresten sind hauptsächlich Kohlenhydrate zu nennen, die für die Säurebildung in Betracht kommen, wobei Brot an der Spitze steht.

MILLER (1) rechnet der retinierten, klebrigen Stärke mehr Bedeutung zu als dem Zucker, der leicht fortgeschwemmt wird und dadurch nicht zur Wirksamkeit gelangen kann.

b) Bakterien

W. D. MILLER, der wohl als Begründer der heutigen Kariesbakteriologie bezeichnet werden darf, hat zwischen säureproduzierenden, gleich entkalkenden und den die Rückstände auflösenden Mikroorganismen unterschieden. Zu den Säurebildnern gehören die Fusobakterien, u. a. Cladothrix und Leptothrix, die sich in Symbiose mit Streptokokken befinden.

An Hand zahlreicher von verschiedenen Autoren durchgeführter Untersuchungen über die Bakterienflora der Mundhöhle wurden verschiedenen Bakterien die Hauptrolle bei der Kariesentwicklung zugeteilt.

So vertritt GINS (3) die Ansicht, daß die anaeroben Mundbakterien (Leptothrix, fusiforme Bazillen, Spirillen, Vibrionen) für die Kariesentstehung verantwortlich sind. Er führte Versuche mit kariösen Milchzähnen in sterilem

Seesand durch unter Bedingungen, die weder dem Zahn Nährstoffe durch den lebenden Organismus, noch den Bakterien Nährstoffe durch Speisereste oder durch abgestoßene Epithelien des Zahnfleisches zuführen ließen. Nach wenigen Monaten waren die banalen Anaerobier verschwunden und nur noch Anhänger der Mesentericus-Gruppe nachweisbar. An den Zähnen selbst aber waren einzelne Stellen größer geworden und sogar neue kleine Stellen von Karies aufgetreten. Diese Versuchsergebnisse führten GINS zu der Überzeugung, daß Karies eine Infektionskrankheit ist, deren Erreger aber nur durch auslösende Momente zur Wirksamkeit gelangen können.

In Amerika spielte die Bakterienfrage gemäß der Schule BUNTING (4) unter spezieller Berücksichtigung des *Bacterium acidophilum* ebenfalls eine große Rolle. BUNTING zeigte, daß der *Bacillus acidophilus* immer dort vorhanden ist, wo aktive Karies besteht. Er konnte sogar experimentelle Karies erzeugen durch Eintauchen von Zähnen in eine Lösung steriler Glukose und *Bacillus acidophilus*.

GOADBY (5) gab folgende Bakterien als Säurebildner an: Staphylokokken, Streptokokken, Bacillen der Lacticgruppe, Hefesporen, *Bacillus necrodentalis* (von ihm entdeckt und benannt).

KLIGLER (6) hat festgestellt, daß die Anzahl der Lactobacillen bei kariesanfälligen Personen erhöht ist, im Gegensatz zu kariesresistenten.

JAY (7) ist an Hand bakteriologischer Untersuchungen ebenfalls zu dem Ergebnis gekommen, daß Karies und *Bacillus acidophilus* in enger Beziehung zueinander stehen.

LAMMERS (8) stellte fest, daß bei Anwesenheit vergärbbarer Kohlenhydrate in einem gemeinsamen Nährboden letzten Endes immer die *Acidophilus*-Bakterien dominieren. Untersuchungen über den Bakteriengehalt der Zahnfissuren bestärkten das Überwiegen der *Acidophilus*-Bakterien.

Nach amerikanischen Untersuchungen anderer Autoren soll eine Relation zwischen *Bacterium acidophilum* und Kohlenhydraten insofern bestehen, als bei Zunahme des Kohlenhydratanteils in der Nahrung die Anzahl der Lactobacillen erhöht ist, und zwar direkt proportional den Kohlenhydraten. Diese Tatsache wurde besonders bei Anwesenheit von Hefe festgestellt, die stimulierend auf die Bakterien wirken soll.

Auf Grund der in größtem Ausmaße vorgenommenen Untersuchungen, die bei Reduktion der Lactobacillen eine Abnahme der Karies erkennen ließen, sind amerikanische Autoren überzeugt, daß dem *Lactobacillus acidophilus* eine entscheidende Bedeutung bei der Kariesentstehung zukommt.

c) Säuren

Der kariöse Prozeß kommt, wie oben beschrieben, durch Säurebildung zustande, die durch bakterielle Gärungsprozesse entsteht. Zwei Formen der Gärung als Säureproduzenten kommen in der Mundhöhle nach der heutigen Auffassung in Betracht:

a) Milchsäuregärung, der MILLER (1) die größte Bedeutung beim Kariesgeschehen beimißt.

b) Alkoholische Gärung.

a) Bei der Milchsäuregärung erfolgen Um- und Abbau von Stärke zu Milchsäure folgendermaßen:

aus der Stärke über verschiedene Dextrinarten zu Maltose und zu Glukose (Traubenzucker). Die Glukose ist dann direkt vergärungsfähig. Unter der Einwirkung der Bakterien (*Bacterium lacticum acidophilum*) zerfällt der Traubenzucker über verschiedene Zwischenstufen und Phosphorsäureverbindungen zu Brenztraubensäure und schließlich zu Milchsäure, bzw. bei Anwesenheit von Hefesporen zu Äthylalkohol. Die Anwesenheit von Phosphor bei der Milchsäuregärung ist eine unerläßliche Vorbedingung.

b) Die alkoholische Gärung, hauptsächlich von WOHINZ (9) herausgestellt, gilt nach ihm als die schärfer und rascher entkalkende. Sie hat zu ihrer Voraussetzung die Anwesenheit von Hefesporen, wobei neuerdings hauptsächlich an wilde Hefen gedacht wird, die größere Bereitschaft zur alkoholischen Gärung haben (Bäckerkaries).

Unter den entstandenen Säuren beginnen die Kalksalze sich aufzulösen, wobei es zur Karies kommt mit anschließender Kavitätenbildung.

bb) Konditionale Momente

a) allgemeiner Natur

b) örtlicher Natur

a) allgemeiner Natur

Dazu gehören:

Ernährung

Alter

Geschlecht

Rasse

Vererbung

Umweltfragen wie Boden, Wasser, Klima

Daß Lebens- und Ernährungsweise eine wesentliche Bedeutung für die Erhaltung des Gebisses hat, ist durch zahlreiche Untersuchungen bestätigt worden. Die Kariesanfälligkeit, die am Ende der Jungsteinzeit im allgemeinen kaum über 2% betrug - GRETH (10) stellte im Neolithikum 3-4% karieskranker Zähne fest - und nach statistischen Erhebungen seit dem 17. Jahrhundert an Frequenz zunahm bis zu 90 - 100%, kann als Folge der Verfeinerung der Nahrung bewertet werden. Eine solche Verfeinerung bedeutet eine verminderte Kautätigkeit, die eine natürliche Reinigung des Gebisses einschränkt oder sogar aufhebt. Daß mit dem Einführen der sogenannten Zivilisationskost, die viele verfeinerte Kohlenhydrate enthält, ein Kariesanstieg zu verzeichnen war, geht aus vielen Untersuchungen hervor.

So fand z. B. GRETH am Rhein in der Zeit um 50 - 500 nach der Zeitwende im Bereich der alten Römergarnisonen eine beträchtliche Karieszunahme gegenüber Schlesien, wohl als Folge der von den Römern mitgebrachten verfeinerten Küche. Im weiteren Umkreis um diese alten Römergarnisonen blieb die Kariesfrequenz gleich niedrig wie im Osten.

Genaueste Beobachtungen erbrachten die Expeditionen des Dänen P. O. PEDERSON (17) nach Grönland: an der Westküste mehr eisfreie Häfen, mehr Schiffsverkehr, mehr Möglichkeit zur Abkehr von der naturgemäßen Ernährung, mehr Karies; an der Ostküste Häfen nur kurze Zeit eisfrei, weniger Schiffsverkehr, weniger Weißmehl und Zucker eingeführt, mehr naturgemäße Ernährung und eine Zahngesundheit wie am Ende der Jungsteinzeit.

HERRMANN (11) hat durch tierexperimentelle Untersuchungen an Ratten festgestellt, daß bei kariogener Kost (kohlenhydratreich) bereits in der zweiten Generation Kariesdefekte an den Rattenmolaren älterer Tiere auftraten. Während der Zahnentwicklung zeigten Ratten, die in der zweiten bis fünften Generation mit kariogener Kost ernährt wurden, Unterschiede in der harten Zahnschubstanz gegenüber Ratten, die Normalkost bekamen. Diese Unterschiede zeigten sich z. B. in der Resistenzverminderung bei histologischer Verarbeitung, in der Abnahme des Zusatzwachstums des Nagezahnes, was auf eine gestörte Funktion der Ameloblasten zurückgeführt wird.

Außer der Ernährung treten viele andere Faktoren auf, die die Kariesentstehung begünstigen. Die Ernährung nimmt allerdings eine Schlüsselstellung im Rahmen der entscheidenden Faktoren ein.

Was das Lebensalter in bezug auf die konditionalen Momente anlangt, so ist ein Anstieg der Kariesfrequenz in der Pubertätszeit eine sehr häufig gemachte Beobachtung, die ihre Erklärung durch hormonale Einflüsse erfährt; eine sol-

che Welle ist ebenfalls im Klimakterium zu konstatieren, die auch mit hormonalen Fragen zusammenhängt.

Allgemein wird angenommen, daß das weibliche Geschlecht mehr von Karies befallen wird als das männliche; SCHIÖTZ (aus EULER 2) fand bei den primitiv lebenden Eskimos als Verhältniszahl für die beiden Geschlechter 6,2% weibliche Karieskranke zu 3,4% männlichen Karieskranken. Als Gründe wurden frühes Einsetzen der Pubertät sowie Einfluß der Gravidität angegeben sowie eine erhöhte konstitutionsbedingte Kariesanfälligkeit.

Wie weit die Rasse einen Einfluß auf die Karieshäufigkeit hat, wird wohl in erster Linie davon abhängen, wie weit eine Rasse sich ihre Ursprünglichkeit bewahrt hat und wie weit sie unter dem Einfluß der Zivilisation steht. Auf Grund einer neuen Zusammenstellung kam man zu dem Ergebnis, daß die Kariesresistenz gewisser Rassen keine feststehende Eigenschaft ist, sondern ein von Umwelteinflüssen abhängiger Zustand.

Bei der Betrachtung der Vererbung ist es klar, daß Karies als solche nicht vererbbar ist, sondern lediglich die Kariesdisposition. Kieferform, Zahnstellung, Occlusion, Bißform können vererbt werden und eine begünstigende Kariesentwicklung ermöglichen.

Zu dem Problem der Umwelt mit seiner Bedeutung für die Zahnkaries zählen Klimaänderungen, die nicht mehr der ursprünglichen Lebensweise entsprechen oder umgekehrt, wobei das landesgegebene Klima nicht mehr in Einklang mit der geänderten Lebensweise steht; die Bodenverhältnisse, die ebenfalls mit der Lebensweise harmonisieren müssen und das Wasser, dessen Kalkgehalt in Beziehung zum Kariesproblem gebracht wurde, fallen auch unter den Punkt: Umwelt. Ein geringer Kalkgehalt braucht keineswegs eine Erhöhung der Kariesfrequenz zu bedeuten. Allerdings tritt eine Rückwirkung auf das Zahnsystem dann auf, wenn durch Nahrungszubereitung der den Bodenernährnissen mitgegebene Kalk verloren geht.

b) örtlicher Natur

Zu den Bedingungen dieser Art gehören:

Zahnform

Zahnstellung

Zahnstruktur

Speichel; dieser wirkt zwar örtlich, wird aber endogen gesteuert, so daß er eine Zwischenstellung einnimmt.

PORT-EULER (12): Die Zahnform spielt infolge der Retentionsstellen für den

kariösen Prozeß eine große Rolle und ist umso mehr kariesprädisponierend, je mehr Haftstellen vorhanden sind, die den anhaftenden gärungsfähigen Kohlenhydratpartikeln vor der natürlichen und künstlichen Reinigung Schutz gewähren. Zu den Retentionsstellen zählen z.B. Fissuren, Foramina coeca, Schmelzdefekte, überstehende Füllungen und abstehende Kronenränder, in die Speisereste und Bakterien beim Kauakt eingepreßt werden.

Ausgezeichnete Retentionsstellen können sich auch aus der Zahnstellung ergeben, wenn es sich z.B. um einen Engstand handelt, der ein Ansiedeln von Bakterien ermöglicht und dessen Schlupfwinkel einer natürlichen und künstlichen Reinigung nicht zugänglich sind.

Was die Zahnstruktur betrifft, so ist zu sagen, daß ein gut entwickelter und gut mineralisierter Zahn eine größere Widerstandsfähigkeit der Karies gegenüber besitzt als ein schlecht verkalkter; denn je besser der Schmelz verkalkt ist, umso weniger organische Substanz enthält er und umso weniger Nährboden bietet er den Bakterien im Gegensatz zum schlecht verkalkten Schmelz. Dies gilt gleicherweise auch für das Dentin, wo hauptsächlich das Ausmaß der unverkalkt gebliebenen, also fast nur aus organischem Gewebe bestehenden Interglobularbezirke einen Maßstab abgibt, und wenn Bakterien so weit vorgedrungen sind, eine verhängnisvolle Bedeutung gewinnen kann. Eine besondere Rolle spielen die Störungen in der Entwicklungszeit der Zähne, wie Rachitis, Funktionsstörung der Epithelkörperchen, infektiöse Darmerkrankungen usw.

Eine Bedeutung des Speichels für das Kariesgeschehen ist schon lange bekannt und durch zahlreiche Versuche untermauert und begründet worden. Nach EULER (2) sind es folgende Faktoren, die dem Speichel eine solch hohe Bedeutung beimessen:

- Art
- Menge
- Viskosität
- Kalziumgehalt
- Phosphorgehalt
- Rhodangehalt
- Magnesiumgehalt
- Pufferungsverhältnisse
- Wasserstoffionenkonzentration

Zusammensetzung des Speichels: MATHIS (13): Der Speichel enthält Mucin, wodurch er seine schleimige Konsistenz bekommt, außerdem abgestoßene

Epithelien der Mundhöhle, Bakterien und Leukocyten (Speichelkörperchen).
An anorganischen Bestandteilen enthält er hauptsächlich:

Kalzium (ca. 5 mg%)

Phosphor (ca. 15 mg%), organisch und anorganisch gebunden

Magnesium (ca. 0,3 mg%)

Rhodan (ca. 15 mg%)

Kalium (ca. 71 mg%)

Natrium (ca. 33 mg%)

Chlor (ca. 44 mg%)

Die angeführten Zahlen sind Mittelwerte.

Weitere Bestandteile sind:

Nitrit, Ammonium, Harnsäure, Eiweiß, hauptsächlich in Form des Glykoproteids Mucin, wie oben erwähnt, Vitamine sowie Fermente: (EGGERS-LURA 14).

1. Esterasen: a) Lipase, b) saure Phosphatase, c) alkalische Phosphatase.
2. Carbohydrasen: a) α -Glukoside, b) α -Amylase.
3. Proteasen: a) Peptidasen, b) Dipeptidasen, c) Polipeptidasen,
d) Proteinasen u. a. m.
4. Oxydasen: a) Peroxydase, b) Katalase.
5. Dehydrogenasen.

Die Zusammensetzung des Speichels ist großen Schwankungen unterlegen, da sie abhängt von psychischen und physischen Reizen. Ebenfalls besteht ein Unterschied in der Zusammensetzung zwischen dem langsam, gleichmäßig abfließenden Ruhespeichel und dem durch Kauen von Paraffin oder Gummi erzeugten Reizspeichel.

Eigenschaften des Speichels (21 u. 22) u. a.: Außer den chemischen und physiologisch-chemischen Eigenschaften (Schlupfrigmachen des Bissens, Lösung fester Substanzen, Abbau von Kohlenhydraten) beeinflusst der Speichel die Kariespathogenese. Die Eigenschaften des Speichels, die zur Verhütung von Karies beitragen, lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

1. Er verdünnt konzentrierte Lösungen.

Die im Mund entstandenen Gärungssäuren werden verdünnt. Je mehr Speichel, umso größer ist die Verdünnung, umso geringer die Kariesfrequenz. EULER (2) dagegen glaubt nicht, daß ein unbedingter Zusammenhang zwischen erhöhter Speichelabsonderung und verminderter Karies besteht.

2. Er wirkt als Spül- und Reinigungsmittel.

Die Gärungssäuren werden weggespült. Die Sekretmenge beträgt nach MATHIS

(13) innerhalb von 24 Stunden ungefähr 1,5 l. Ein Speichelmangel geht meist Hand in Hand mit erhöhter Kariesfrequenz, während allerdings eine erhöhte Speichelabsonderung nicht unbedingt eine Garantie gegen Karies ist. Untere Frontzähne werden am wenigsten von Karies befallen, da sie ständig von Speichel umspült sind.

3. Er neutralisiert Säuren und wirkt als Pufferungsmittel.

Unter Pufferung versteht man den Widerstand, den eine Lösung der veränderten Wasserstoffionenkonzentration entgegensetzt. Die Wasserstoffionenkonzentration, der pH-Wert, beträgt nach MATHIS $6,75 \pm 0,2$, was den normalen Durchschnittsspeichel anbetrifft. Die tageszeitlichen Schwankungen hängen von der Nahrungsaufnahme ab. EULER (2) ist der Meinung, daß der pH-Wert des Speichels durchaus nicht die Rolle beim Kariesgeschehen spielt, wie anfänglich vermutet wurde. Es konnte nämlich auch trotz niedrigem pH-Wert eine Kariesanfälligkeit festgestellt werden.

4. Er ist beteiligt an der Remineralisation und Demineralisation des Zahnes. Bei Übersättigung des Speichels an Kalzium und Phosphor wird Kalziumphosphat ausgefällt und vom Zahn zur Remineralisation verwandt. Ungesättigter Speichel entzieht dem Schmelz Kalzium und Phosphor und kann somit demineralisierend wirken.

5. Er besitzt durch Rhodankali bactericide Wirkung.

Auf das Kariesproblem übertragen, bedeutet diese Eigenschaft des Speichels eine hemmende Wirkung auf die Entwicklung der Bakterien.

Weitere Eigenschaften: Visköser Speichel, der durch den Gehalt an Mucin bestimmt wird, hat nach WANNENMACHER (15) in reicher Menge kaum kariesfördernden Einfluß bei Fehlen von sonstigen kariessteigernden Momenten, gewinnt aber an Bedeutung bei geringer Speichelabsonderung. Es wird angenommen, daß die Mucinschicht eine Art Schutzschicht bildet, die eine Pufferwirkung des Speichels verhindert, so daß ungehindert Säuren entstehen können.

Inwieweit ein Zusammenhang zwischen dem Kalkgehalt des Speichels und der Karies besteht, ist noch ungeklärt; dasselbe betrifft den Phosphor- und den Magnesiumgehalt.

Die Wirkung der im Speichel befindlichen Bakterien auf Glukose haben NEUWIRTH und SUMMERSON (16) gezeigt: Innerhalb von 30 Minuten sind etwa 80% der zugesetzten Glukose in Säure umgewandelt. Milch- und Brenztraubensäure machen ein Drittel bis die Hälfte der produzierten Säuremenge aus. (Es können auch Essig-, Propion-, Buttersäure aus Glukose entstehen bei Einwirkung von Bakterien).

b) CZERNYEI

So erblickt CZERNYEI (18), nach dessen Meinung der Zahn ein selbständiges Gebilde mit eigenem Kreislauf, Innervation und Stoffwechsel ist, in auftretenden Stoffwechselstörungen der Pulpa, bedingt durch nervöse Einflüsse, die Ursache für die Karies. Das physiologische Gleichgewicht zwischen Fluor und Magnesium ändere sich bei Störungen des Stoffwechsels, so daß eine Demineralisation des Dentins durch die "Pulpaphosphatase" entstehe. Gleichzeitig mit der Abspaltung der Phosphorsäure gehe auch Kalzium in Lösung. Er glaubt, daß die Karies ihren Anfang in der Pulpa nimmt und über das Dentin auf den Schmelz übergreift.

c) EGGERS-LURA

Nach EGGERS-LURA (14) stellt die Karies eine pathologische Resorption dar, in welcher die Enzyme des Speichels und der Bakterien dieselbe Rolle spielen wie die Enzyme des Blutes bei der physiologischen Milchzahnresorption. Als Resultat trete eine enzymatische Auflösung des anorganischen sowie des organischen Schmelzgerüsts auf.

d) FORSHUFVUD

FORSHUFVUD (19) begründet seine Theorie folgendermaßen: Die Karies beginnt mit einer Wunde, einem Riß oder Sprung im Schmelz, der sich mit Fibrin anfüllt, bei Heilung in retikuläre Fasern umwandelt und danach verkalkt. Bei kariesanfälligen Menschen kann es zum Absterben des Fibrins kommen, wodurch ein guter Nährboden für Bakterien entsteht. Die Entwicklung der Karies sieht er in der Vermehrung der Risse im Schmelz mit austretenden und zerfallenden Fibrinfäden mit Bakterieninvasion, so daß sich aus der Wunde ein Geschwür entwickelt.

e) GOTTLIEB

GOTTLIEB (20) ist der Ansicht, daß die proteolytischen Bakterien die erste Bresche in die organische Substanz des Schmelzes schlagen. Von dort greife die produzierte Säure entlang den Lamellen an und führe zur Auflösung der anorganischen Substanz.

f) RHEINWALD

Auf Grund neuerer Untersuchungen, die RHEINWALD (23) durchgeführt hat, gewinnt der Begriff Korrosion, der in der Kariesforschung nicht neu ist, an

Bedeutung. Schon in der Mitte des 16. Jahrhunderts wurde "Corrosio" mit "Caries" gleichgesetzt. Ganz allgemein versteht man unter der Korrosion einen chemisch-physikalischen Zerstörungsprozeß. RHEINWALD setzt ebenfalls den Begriff der Korrosion als Zerstörungsvorgang mit dem Begriff der Karies als Zerstörungsvorgang gleich, weil seiner Meinung nach Korrosion und Karies das Gleiche besagen, nämlich eine "Zersetzung, Zerfressung". Er lehnt die Kariesentstehung durch Säuren und Bakterien ab, weil er der Meinung ist, daß "weder Bakterien noch bei der Nahrungsaufnahme entstehende Gärungs- und Verdauungsprodukte in der Lage sind, Säuren in einer Konzentration zu bilden, die stark genug wären, den Schmelz anzugreifen".

Da sich meine Arbeit in der Hauptsache um Kariesentstehung durch elektrische Schwachströme handelt, sei es mir hier erlaubt, auf die Arbeit von RHEINWALD näher einzugehen.

Gegen eine bakterielle Schmelzschädigung führt der Autor drei Punkte an:

1. "Der Schmelz ist die wasserärmste aller im Organismus vorhandener Substanzen. Sein Wassergehalt beträgt weniger als 1%. Für Mikroben aller Art ist Wasser die Lebensvoraussetzung. Diese ist am Schmelz nicht gegeben. Die in der Mundhöhle vorhandenen Keime haben überall bessere Wachstums- und Siedlungsmöglichkeiten als am Zahnschmelz.
2. Bakterien benötigen für ihr Wachstum und ihre Vermehrung organische Substanzen. Der Gehalt des Schmelzes an organischer Substanz ist so gering, daß eine Lebensmöglichkeit für Mikroben nicht besteht.
3. Jeder Organismus, also auch der der Bakterien, benötigt zum Aufbau Phosphate. Phosphate können nur resorbiert werden, wenn sie als sekundäres Phosphat vorliegen. Der Schmelz, der wie der Hydroxylapatit und Fluorapatit als tertiäres Phosphat vorliegt, ist nicht in der Lage, die für das Wachstum von Mikroben aller Art notwendigen Phosphate zu liefern."

RHEINWALD erblickt in der Tatsache, "daß sich unter bakterienhaltigem Zahnstein keine Karies bilden kann", wiederum einen Gegenbeweis gegen die Bakterien-Säure-Theorie.

Nach ihm sind es elektro-chemische Kräfte, die eine kariöse Zerstörung der Zahnschmelz bewirken; die Korrosion wird von ihm als ein "ungewollter chemisch-physikalischer Prozeß, der sich innerhalb der Materie oder an der Grenzfläche zwischen zwei Materialien abspielt", definiert. Ein Korrosionsprozeß kann nach RHEINWALD nur durch elektrische Kraft unter Vorhandensein eines Elektrolyten entstehen, indem Ionen in einer Materie transportiert werden oder che-

mische Stoffe frei werden, die direkt oder in Verbindung mit anderen chemischen Stoffen auf die Materie wirken. Er zieht zwischen der Korrosion an zahnärztlichen Materialien in der Mundhöhle bestimmte Parallelen zur Karies und erblickt eine gewisse Verwandtschaft zwischen den beiden Zerstörungsprozessen:

"Es lassen sich eine ganze Reihe von Parallelen feststellen, die eine Betrachtung der Karies als eines Korrosionsvorganges nahelegen und rechtfertigen."

Er sieht einen kausalen Zusammenhang zwischen Karies und metallischer Zerstörung, "da Brückenpfeiler und deren Nachbarzähne, sowie Klammerzähne weit über dem Durchschnitt von der Karies befallen werden."

Für das Auftreten von elektrischem Strom in der Mundhöhle nimmt der Autor folgende Möglichkeiten an:

1. Aktionsströme, die insofern auf der verschiedenen Gewebsflüssigkeit beruhen, als beim Konzentrationsausgleich Energie frei wird und ein elektrischer Strom entsteht. Konzentrationsunterschiede entstehen in erheblichem Maße bei der Tätigkeit der Muskulatur.
2. Thermoströme, die durch Temperaturunterschiede auftreten können.
3. Statische Elektrizität, die durch Berührung oder Reibung zustande kommt, was in der Mundhöhle in Betracht gezogen werden kann, da Speichel und Schmelz in ständiger Berührung stehen.

An Hand von Versuchen hat er festgestellt, daß der Zahnschmelz kein Isolator, sondern ein Halbleiter ist, und daß eine gute Leitfähigkeit des Speichels als Elektrolyt abhängt von geringer Viskosität und Temperaturanstieg.

Als Voraussetzung für die theoretischen Erwägungen der Korrosionserscheinungen sah RHEINWALD eine experimentelle Erzeugung von Defekten am Zahnschmelz an Hand einer Versuchsreihe.

Nach einigen Vorversuchen, durch die er feststellte, daß eine Erhöhung der Elektrolyttemperatur den Ablauf des zerstörenden Prozesses beschleunigt, eine Gewichtsabnahme des Zahnes als Beweis einer Demineralisation stattfindet, schritt er zum Hauptversuch über.

aa) RHEINWALDs Versuchsanordnung

Der Versuchszahn wurde in einem Glasröhrchen mit einer Gummimanschette eingekeilt, so daß ein Kathoden- und ein Anodenraum entstand, die durch den Zahn hermetisch voneinander abgetrennt waren, so daß keine Flüssigkeit

von einem Raum zum anderen übertreten konnte. Als Stromquelle diente ein 2-Volt-Akkumulator, als Elektroden Platinspiralen, die durch die das Röhrchen verschließenden Korken geführt wurden. Kathoden- und Anodenraum waren mit 1%iger NaCl-Lösung angefüllt, die, nachdem durch Messung ein Absinken des pH-Wertes festgestellt wurde, täglich erneuert wurde. Die Krone lag im Anodenraum.

Eine zeichnerische Darstellung erleichtert das Verständnis dafür (Abb. 1).

bb) RHEINWALDs Versuchsergebnisse

RHEINWALD entdeckte an einem jugendlichen Weisheitszahn schon nach 4 Tagen eine Entkalkungszone mit "Loch" in der Fissur, an einem älteren kariesresistenten Eckzahn mit starker Abrasion und dunkelgelber Verfärbung an der Schneidekante nach 6 Tagen einen stufenförmig abgesetzten Schmelzverlust an der Schneidekante; an einem ebenfalls älteren Eckzahn mit Abrasion, beginnender Karies am Kontaktpunkt und stecknadelkopfgroßem "Loch" am Foramen coecum nach wiederum 6 Tagen eine Vertiefung der Karies am Kontaktpunkt, ein stecknadelkopfgroßes "Loch" auf der Schneidekante und einen Schmelzsprung, der sich durch den ganzen Schmelz erstreckte.

Er wies eine schnellere und größere Defektbildung an jugendlichen und kariesanfälligen Gebissen nach, im Gegensatz zu alten und kariesresistenten Zähnen. Er stellte weiter fest, daß die Zerstörungen der Karies entsprechend punktförmig beginnen und sich allmählich ausbreiten, und daß die durch Schwachströme erzeugte Korrosion eine kristalline Veränderung der Zahnstruktur hervorruft.

Der Autor ist der Ansicht, daß der Schmelz nach seiner Mineralisation biologischen Einflüssen kaum mehr zugänglich ist und seine Struktur damit für die Dauer des Lebens fixiert ist. Das wandelbare und den verschiedensten Einflüssen unterworfenen Agens in der Mundhöhle ist der Speichel. Er stellt die physiologische Verbindung zum Organismus dar, und seine Veränderung soll den Korrosionsprozeß in Gang setzen und unterhalten. Das Verhalten des Schmelzes zum Speichel bestimmt die Erscheinungsform der Karies.

Die einzelnen Punkte, die nach RHEINWALD das Wesen der Karies bestimmen, faßt er wie folgt zusammen:

1. "Es gibt eine Karieskonstitution und eine Kariesdisposition.
2. Alle Untersuchungen am Schmelz konnten keinen Beweis dafür erbringen, daß Konsitution und Disposition wesentlich durch das Material des Schmelzes

bedingt sind. Für das Wirksamwerden der zerstörenden Kraft muß vorwiegend der Speichel in Betracht gezogen werden.

3. Es gibt einen Zivilisationsfaktor der Karies, der nicht faßbar ist. Die Ernährung ist von gewissem Einfluß auf den Kariesbefall.

4. Es liegt kein Beweis dafür vor, daß Bakterien imstande sind, den kariösen Angriff einzuleiten.

5. Histologische und röntgenologische Untersuchungen haben ergeben, daß der kariöse Angriff nicht auf der Schmelzoberfläche, sondern im Schmelzinnern bei intakter Oberfläche beginnt. Die Annahme einer äußerlichen Säurewirkung ist deshalb unhaltbar.

6. Der Organismus besitzt im Speichel reparative Kräfte. Von der Speichelstruktur ist sowohl die Zerstörung der Zahnschmelzsubstanz wie auch die biologische Reparation entstehender Defekte abhängig. Zahnbeläge und Zahnstein müssen als eine Art von Remineralisation aufgefaßt werden.

7. In der Natur sind ähnliche Zerstörungsprozesse, wie sie sich als Karies am Zahn abspielen, bekannt. Sie werden als Korrosion bezeichnet.

8. Korrosionsprozesse sind dadurch gekennzeichnet, daß sie sich stets an unbelebter Materie abspielen. Auch für die Karies läßt sich feststellen, daß der Zerstörungsprozeß stets an der Schranke der biologischen Reaktionsfähigkeit, die den Geweben eigentümlich ist, halt macht. Zwischen dem naturwissenschaftlich unterbauten Begriff der Korrosion und der Zahnkaries wurden zahlreiche Analogien festgestellt.

9. In mehreren Versuchsreihen konnte gezeigt werden, daß es gelingt, mit elektrischen Schwachströmen am Zahn Korrosionserscheinungen hervorzubringen, die das gleiche Bild zeigen wie die kariöse Zerstörung in der Mundhöhle.

10. Untersuchungen innerhalb der Mundhöhle und theoretische Überlegungen über das elektro-biologische Verhalten der Zahnschmelzsubstanz im Speichel als Elektrolyten lassen die Deutung der Karies als eines Korrosionsvorganges zu."

"Unter Berücksichtigung aller dieser Überlegungen und Untersuchungen wurde die Korrosionstheorie entwickelt. Es erscheint in hohem Grade wahrscheinlich, daß die Karies durch Korrosion, d.h. durch die Wirkung physikalisch-chemischer Kräfte zustande kommt. Die Zerstörung kann aber nur dann in der Zahnschmelzsubstanz vorwärtsschreiten, wenn das physiologisch vorhandene Remineralisationsvermögen versagt, d.h. wenn der Organismus die Fähigkeit zum Ausgleich von Defekten verliert."

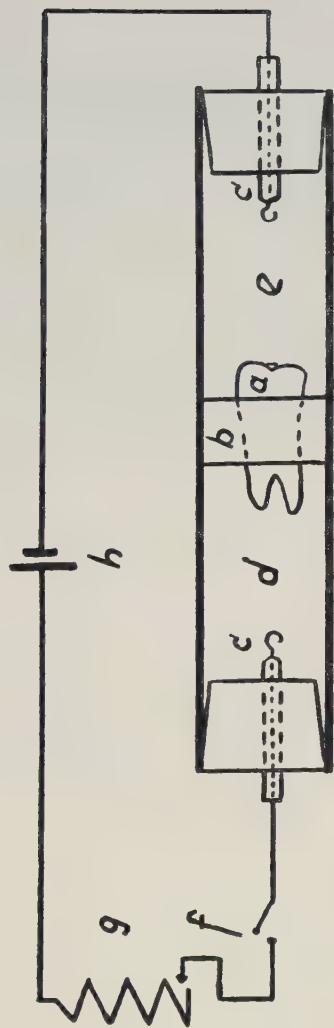


Abb. 1: RHEINWALDs Versuchsanordnung

a = Zahn b = Gummimanschette c = Platin-Elektroden
d = ~~Kathodenraum~~ e = Anodenraum f = Schalter
g = Schutzwiderstand h = 2-Volt-Akkumulator

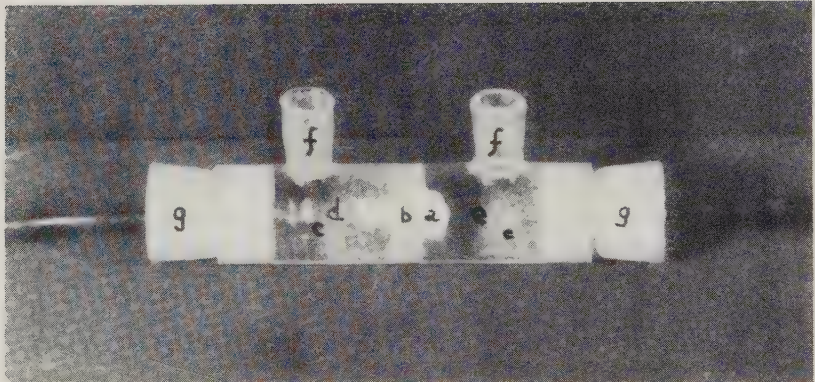


Abb. 2 zeigt ein für die Versuche verwendetes Glasröhrchen

- a = Zahn
- b = Gummimanschette
- c = Platin-Elektroden
- d = Kathodenraum
- e = Anodenraum
- f = Tubus
- g = Gummistöpsel

g) Schlußbetrachtung

Meine oben ausgeführten Kariestheorien sollten einen Überblick über den heutigen Stand vom Wesen der Karies geben. Besonders beleuchtet wurden einmal die MILLERSche Theorie, die noch heute Gültigkeit hat, zum zweiten die RHEINWALDsche Korrosionstheorie, deren Nachprüfung die Aufgabe meiner Arbeit ist.

III. EXPERIMENTELLER TEIL

Da RHEINWALD in seiner Abhandlung über die Korrosionstheorie keinen histologischen Beweis für die Identität von Korrosion und Karies erbracht hat, wurde eine nochmalige Versuchsreihe nach seinen Angaben erforderlich. In Ergänzung dazu wurden Versuche verlangt, die an Stelle von NaCl-Lösung mit Speichel als Elektrolyt unter den sonst angegebenen Versuchsbedingungen durchgeführt wurden, um das Verhalten eines unter Stromdurchfluß stehenden Zahnes in Speichel zu beobachten.

Die durchgeführte Versuchsreihe wird in 3 Gruppen eingeteilt:

1. Gruppe: Versuchsverlauf an kariesfreien Zähnen
in dem Elektrolyten NaCl.
Zahl der Versuchszähne: 5
2. Gruppe: Versuchsverlauf an kariesfreien Zähnen in
Speichel und Strom.
Zahl der Versuchszähne: 3
3. Gruppe: Versuchsverlauf an kariesfreien Zähnen in
Speichel und Glukose im Brutschrank.
Zahl der Versuchszähne: 6

1. Versuchsanordnung

Vier starkwandige Glasröhrchen wurden angefertigt, um an mehreren Zähnen gleichzeitig den Versuch durchführen zu können. Abb. 2 zeigt ein für die Versuche verwendetes Glasröhrchen.

Zwei Glasröhrchen haben einen Innendurchmesser von 15 mm für Schneidezähne, Eckzähne und Prämolaren, die beiden anderen sind etwas größer, d.h. ihr Innendurchmesser beträgt 18 mm für Molaren oder sonstige größere Zähne. Alle Röhrchen sind in Nähe der Elektroden mit einem Tubus versehen, damit

die durch die Elektrolyse entstehenden Gase entweichen können und eine Flüssigkeitserneuerung möglich ist. Die Elektroden bestehen aus Platinspiralen von 0,5 mm Stärke, die an einem in einem zugeschmolzenen Glasröhrchen liegenden Cu-Draht angelötet sind. Damit keine Cu-Ionen entstehen und wandern können, liegt die Lötstelle im Röhrchen. Die Elektroden führen durch einen Gummistöpsel, der gleichzeitig die Begrenzung der Röhrchen darstellt. Der Versuchszahn ist, wie bei RHEINWALDs Versuchsanordnung angeführt, ungefähr in der Mitte des Glasröhrchens in einer Gummimanschette eingekeilt. die gleichzeitig einen Anoden- und Kathodenraum entstehen läßt und einen hermetischen Abschluß für Flüssigkeiten bildet.

Die vier Glasröhrchen liegen hintereinander auf einem mit Schaumgummi versehenen Metallgestell eines gleichartigen Kästchens, dessen vordere Seite abgeflacht ist und sowohl ein Volt- als auch ein Amperemeter enthält. Zur Fixation eines jeden Röhrchens dient je ein Metallplättchen, das durch Schrauben mit dem unteren Gestell befestigt wird. Als Stromquelle dient ebenfalls ein Akkumulator, der jedes Röhrchen mit einer Spannung von 2 Volt versorgt. Um Stromschwankungen auszugleichen, besitzt jedes Röhrchen einen Schutzwiderstand, der den Forderungen entsprechend durch Drehen erhöht oder erniedrigt werden kann. Zu jedem Röhrchen führt ein Schalthebel, der ein An- und Ausschalten sowie eine Messung der durchfließenden Stromstärke durch Niederdrücken ermöglicht.

2. Vorbedingungen zur Versuchsreihe

Ein Vorversuch diente dazu, die Apparatur auf Zuverlässigkeit und Genauigkeit zu überprüfen, um eventuell auftretende Fehlerquellen auszuschalten. Als Vorbereitung zur Versuchsreihe wurden alle zu verwendenden Zähne unter einem Binocular bei 10-facher Vergrößerung auf ihre Schmelzbeschaffenheit überprüft, um zu einem genauen Versuchsergebnis kommen zu können. Dabei wurden außer Verfärbung dem bloßen Auge verborgene Schmelzsprünge und Schmelzrisse festgestellt, ja an einigen Stellen auch geringe Schmelzdefekte, die, wie es schien, durch Extraktionstraumen entstanden sind und bei der späteren Auswertung Berücksichtigung fanden.

Von einem Gummistöpsel wurden der Röhrchengröße entsprechende Scheiben zurechtgeschnitten, die in der Mitte der Zahngröße entsprechend ausgestanzt wurden, damit sodann der Zahn in diese Gummimanschette eingekeilt werden konnte. Nach sorgfältigem Einbringen in das Glasröhrchen wurde die hermetische Trennung der durch den eingebrachten Zahn entstandenen Räume durch



a = Zahn b = Gummianschette c = Kathodenraum

d = Anodenraum e = Tubus f = Platin-Elektroden

d = Anodenraum e = Tubus f = Platin-Elektroden
g = Lötstelle h = Cu-Draht j = Glasmantel k = Gummistöpsel

$$k = \text{Gummistöpsel}$$

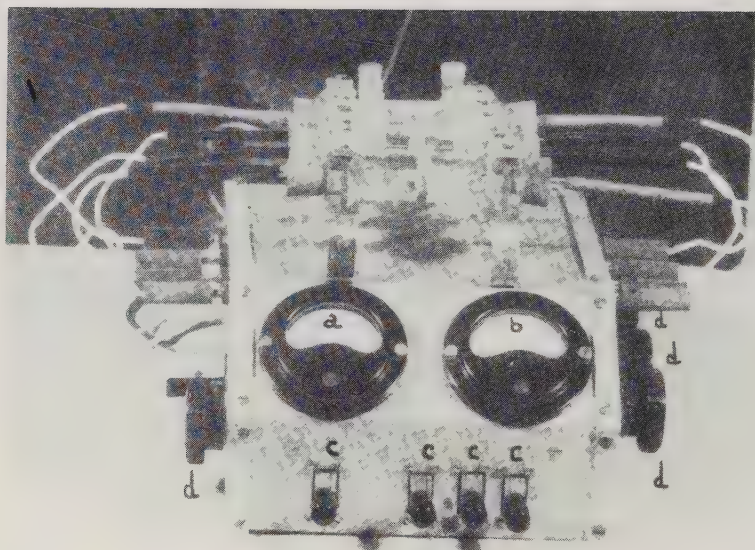


Abb. 4: Glasröhrchen auf dem Metallgestell

a = Voltmeter b = Amperemeter c = Schalthebel d = Schutzwiderstand

Aufstellen und Anfüllen der Röhrchen mit Aqua dest. überprüft. Nachdem kein Flüssigkeitsdurchtritt nach 24 Stunden festzustellen war, konnte mit den Versuchen begonnen werden.

3. Versuchsverlauf an kariesfreien Zähnen

in dem Elektrolyten NaCl

Zahn $\underline{3}$, Zahn $\overline{4}$, Zahn $\underline{5}$, Zahn $\overline{4}$, Zahn $\overline{4}$ waren für die Korrosionsversuche mit NaCl-Lösung als Elektrolyt bestimmt. Die NaCl-Lösung wurde täglich etwa um die gleiche Zeit erneuert, um eine Änderung des pH-Wertes zu vermeiden.

a) Messung der Stromstärke

Vor jeder Flüssigkeitserneuerung, die nach gründlicher Durchspülung der Röhrchen mit Aqua dest. erfolgte, sowie ungefähr 10 Minuten nach jeder Erneuerung wurde die Stromstärke gemessen, die einen deutlichen Stromstärkenabfall nach ungefähr 24 Stunden Stromdurchfluß erkennen ließ. Die Durchschnittswerte der anfänglichen Stromstärke A aller Versuche und die nach ungefähr 1-tägigem Stromdurchgang B zeigt Tabelle 1.

	Zahn $\underline{3}$	Zahn $\overline{4}$	Zahn $\underline{5}$	Zahn $\overline{4}$	Zahn $\overline{4}$
A	45 μ A-65 μ A	60 μ A-90 μ A	115 μ A-140 μ A	75 μ A-95 μ A	115 μ A-140 μ A
B	4 μ A-12 μ A	5 μ A-18 μ A	10 μ A- 25 μ A	4 μ A-18 μ A	5 μ A- 15 μ A

Tabelle 1

Aus beiliegender Kurve (Abb. 5) geht der Stromstärkenabfall hervor.

Um eine gleichbleibende Spannung von 2 Volt zu erhalten, wurde ebenfalls täglich mit einem Spannungsmesser an jedem Röhrchen die Voltzahl überprüft und bei Schwankungen mit den dafür bestimmten Schutzwiderständen einreguliert.

Nach dem täglichen Abpipettieren der Lösungen wurde der pH-Wert sowohl vom Anoden- als auch vom Kathodenraum gemessen, um bei der Auswertung der Versuchszähne eine Säurewirkung ausschalten zu können. Als Apparat diente ein pH-Meter (Modell: WTW), das zuerst durch Standard-Acetatlösung (pH 4, 62) geeicht wurde, und dessen Elektrode in die Flüssigkeit eingetaucht

wurde, worauf es zu einem Ausschlag auf der Skala kam. Die hierbei aufgetretenen Werte waren insofern unterschiedlich, als bei Vergleich zur Ausgangslösung der Kathodenraum immer basisch reagierte, die Werte des Anodenraumes aber nur auf schwach saure Lösung hindeuteten, keine Abweichung zur Ausgangslösung zeigten oder nach der basischen Seite hin umschlugen.

b) Angabe der gemessenen pH-Werte

Zahn /3

Bei einem NaCl-pH von etwa 6,25 im Durchschnitt konnten in den ersten 5 Tagen ein

Anoden-pH von $\sim 5,0$

Kathoden-pH von $\sim 7,5$ als Mittelwert festgestellt werden. In den folgenden 8 Tagen ergaben sich bei einem Ausgang von pH 6,15 ein

Anoden-pH von $\sim 6,1$

Kathoden-pH von $\sim 6,8$

In den nächsten 10 Tagen bei einem NaCl-pH von 5,4 lagen die Werte für den Anodenraum bei $\sim 5,6$

Kathodenraum bei $\sim 6,7$

Zahn /4

In den ersten 5 Tagen bei einem NaCl-pH von $\sim 6,25$ ein

Anoden-pH von $\sim 5,0$

Kathoden-pH von $\sim 8,0$

In den nächsten 8 Tagen bei einem NaCl-pH von 6,15 ein

Anoden-pH von $\sim 6,0$

Kathoden-pH von $\sim 6,8$

In den folgenden 10 Tagen bei einem NaCl-pH von 5,4 ein

Anoden-pH von $\sim 5,0$

Kathoden-pH von $\sim 6,8$

Zahn /5

In den ersten 9 Tagen ergaben sich bei einem NaCl-pH von 5,4 folgende Werte:

Anoden-pH von $\sim 5,8$

Kathoden-pH von $\sim 7,3$

In den nächsten 9 Tagen bei einem NaCl-pH von 5,4 ein

Anoden-pH von $\sim 5,4$

Kathoden-pH von $\sim 7,6$

In den nächsten 5 Tagen bei einem NaCl-pH von 5,4 ein

Anoden-pH von $\sim 4,75$

Kathoden-pH von $\sim 7,8$

in den folgenden 19 Tagen bei einem NaCl-pH von 5,7 ein

Anoden-pH von $\sim 4,4$

Kathoden-pH von $\sim 8,3$

Zahn $\overline{4}$

In den ersten 23 Tagen bei einem NaCl-pH von 5,4 ein

Anoden-pH von $\sim 5,85$

Kathoden-pH von $\sim 7,15$

in den folgenden 19 Tagen bei einem NaCl-pH von 5,7 ein

Anoden-pH von $\sim 5,45$

Kathoden-pH von $\sim 7,2$

Zahn $\overline{47}$

In den ersten 23 Tagen bei einem NaCl-pH von 5,4 ein

Anoden-pH von $\sim 5,9$

Kathoden-pH von $\sim 7,25$

in den restlichen 19 Tagen bei einem NaCl-pH von 5,7 ein

Anoden-pH von $\sim 5,7$

Kathoden-pH von $\sim 7,4$

Die abpipettierten Lösungen wurden nach Messung des pH-Wertes in je einem mit Gummistöpsel versehenen Glasbehälter aufbewahrt, um Phosphor- und Kalziumbestimmungen durchführen zu können, denn durch den Stromdurchfluß gehen Ionen in Lösung, die auf chemischem Wege nachzuweisen sind. Die Elektrolytlösungen wurden von RHEINWALD nach Abschluß des Versuches ebenfalls auf ihren Gehalt an Kalziumionen untersucht.

c) Verfahren der Phosphorbestimmung

Zur Phosphorbestimmung wurde das Verfahren von MARTIN und DOTY gewählt, das geringste Phosphormengen erfaßt, die mit Hilfe eines Kolorimeters (Apparat Spectronic 20 der Firma Bausch und Lomb, Rochester) und der vorher angefertigten Eichkurve, Abb. 6, festzustellen sind. Der Ausschlag des Kolorimeters richtet sich nach der Farbintensität, die ihrerseits abhängt von der Phosphormenge.

Eichkurve: Man nimmt in einem Schliffreagenzglas 6 ccm Isobutanol-Benzol-Gemisch und 1 ccm Ammoniummolybdat (5% in 4n H_2SO_4) und setzt zu verschiedenen Reagenzgläsern der Reihe nach 0,5 ccm, 1,0 ccm, 1,5 ccm der verdünnten Standardlösung (1 ml Lösung enthält 5 μP), dann enthält jedes Reagenzglas der Reihe nach 5 μP , 10 μP , 15 μP . Man gibt zu den gleichen Reagenzgläsern der Reihe nach 4,5 ccm, 4,0 ccm, 3,5 ccm H_2O , d.h. daß die Flüssigkeit in den verschiedenen Reagenzgläsern die gleiche sein muß; die zugesetzte Standardlösung wird jeweils hiermit auf 5 ccm aufgefüllt. Man schüttelt die Schliffreagenzgläser 15 sec. lang und läßt die beiden Phasen (wäßrige und organische) absetzen. Dann hebt man mit einer mit Gummihütchen versehenen Pipette die organische Phase vorsichtig ab. Eine Mischung mit der wäßrigen Phase ist zu vermeiden. Die organische Phase wird in ein neues Reagenzglas gegeben und zur Klärung mit einer Messerspitze H_2O -freiem Na_2SO_4 geschüttelt. Aus dieser Lösung pipettiert man wieder 4 ccm in ein drittes Reagenzglas, vermischt mit 4 ccm schwefelsaurem Alkohol und fügt gleich vor der Messung 0,2 ccm der verdünnten Lösung SnCl_2 dazu und mißt (0,5 ccm SnCl_2 werden mit 20 ccm n H_2SO_4 verdünnt). Der Leerwert, der zur Einstellung des Photometers dient, enthält sämtliche Reagentien außer der Standardlösung, die durch H_2O ersetzt wird.

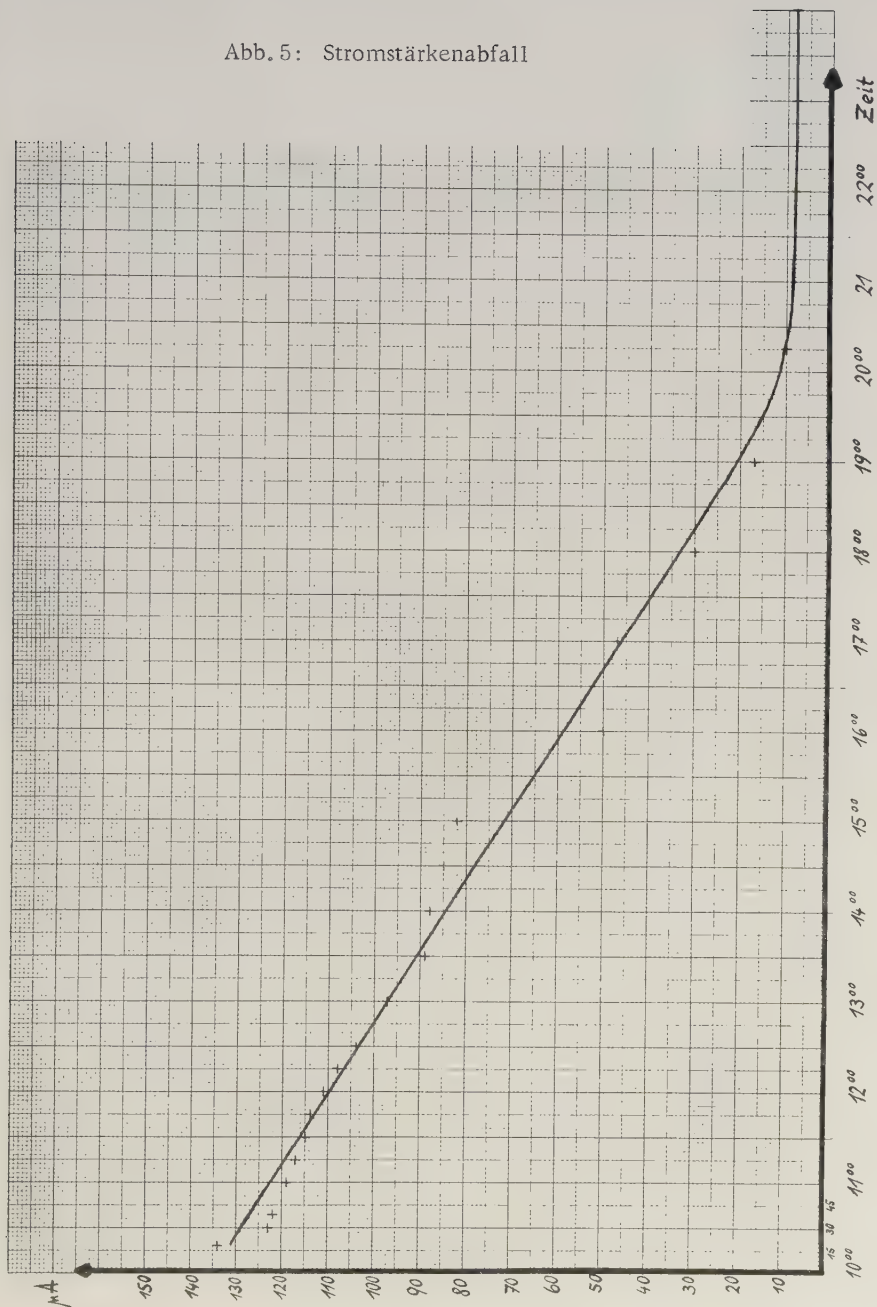
Zur Phosphorbestimmung der abpipettierten Lösungen bzw. der zu bestimmenden Proben wurde an Stelle der Standardlösung die gleiche Menge Versuchslösung den Reagenzgläsern zugesetzt.

d) Verfahren der Kalziumbestimmung

Die Kalziumbestimmung wurde nach STEBER ausgeführt mit Hilfe der Titration.

Zur Ca-Bestimmung wird die Probe, deren Ca-Gehalt zwischen 0,1 und 10 mg betragen soll, in ein Zentrifugenröhrchen gebracht (2 ccm). Dazu kommt HCl 2 n (0,5 ccm), dann der Indikator Methylrot (1 gt), dann Ammoniak (NH_4OH), bis ein Umschlag eintritt. Es tritt meist ein Niederschlag von Phosphaten des Kalziums und des Magnesiums auf. Dieser wird durch Ansäuern mit 0,25 bis 0,5 ccm Essigsäure aufgelöst (CH_3COOH , 25%ig). Es wird auf etwa 5 ccm Volumen aufgefüllt und in der Kälte mit 2 ccm gesättigter Natrium-Oxalat-Lösung ($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$) gefällt. Nach 6 Stunden wird abzentrifugiert und die überstehende Lösung durch ein Filterstäbchen abgesaugt. Es wird zweimal mit 1 ccm Natrium-Oxalat-Lösung vorsichtig gewaschen. Der Niederschlag wird nach dem Absaugen der Waschflüssigkeit mit 0,5 ccm 2 n HCl versetzt. Man fügt ein Viertel Indikator-Puffer-Ta-

Abb. 5: Stromstärkenabfall



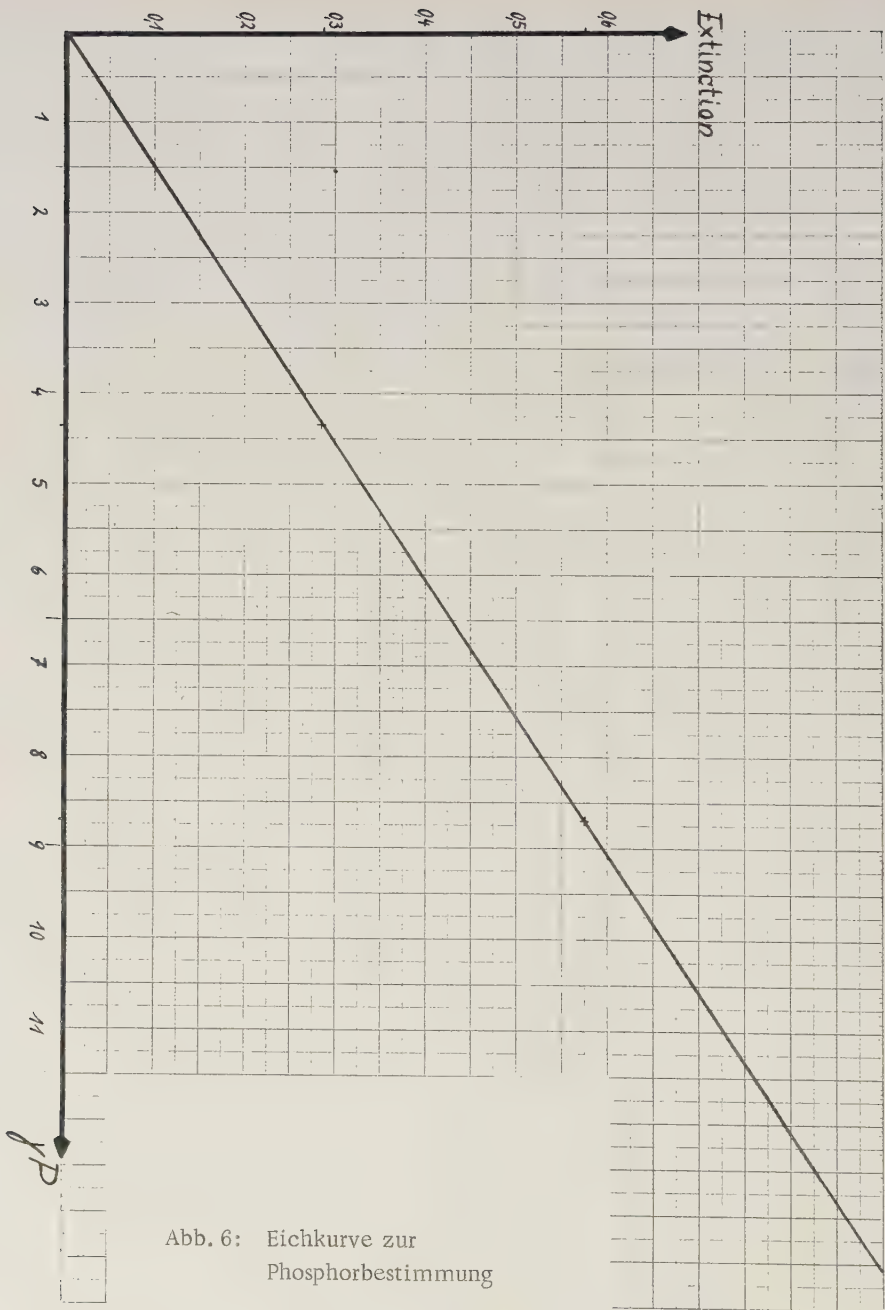


Abb. 6: Eichkurve zur
Phosphorbestimmung

blatte sowie 5 ccm 10%ige NH_4OH zu. Es wird mit 0,05 ÄDTA-Lösung (Ti-triplex 3, Merck) bis zum Umschlag titriert. Die Genauigkeit des Verfahrens beträgt bei Verwendung von 0,1 bis 10 mg Ca etwa 1 bis 2%.

e) Ergebnis der Mineralbestimmung

Die von 9 Tagen gesammelte Lösung wurde ungefähr auf die Hälfte eingedampft, ohne sich an einen bestimmten Mengenwert zu halten, da vorerst versucht werden mußte, an größeren Mengen Phosphor und Kalzium nachzuweisen.

Zahn /4

Phosphor:

Anodenraum (1 ml Lösung): 5,75 γ /1 ml

Kathodenraum (1 ml Lösung): 2,55 γ /1 ml

Kalzium:

Anodenraum (2 ml Lsg.): 0,08 mg/2 ml

Kathodenraum (2 ml Lsg.): 0,019 mg/2 ml

Da die gefundenen Werte noch zu gering waren, besonders für eine genaue Feststellung von Kalzium, wurde die nächste chemische Untersuchung von der 14-tägig gesammelten Lösung durchgeführt, von der 60 ml abpipettiert und auf 10 ml eingedampft wurden.

Zahn /3

Phosphor:

Anodenraum (1 ml Lsg.): 6,55 γ /1 ml

Kathodenraum (1 ml Lsg.): 4,775 γ /1 ml

Kalzium:

Anodenraum (3 ml Lsg.): 0,098 mg/3 ml

Kathodenraum (3 ml Lsg.): 0,073 mg/3 ml

Zahn /4

Phosphor:

Anodenraum (1 ml Lsg.): 17,25 γ /1 ml

Kathodenraum (1 ml Lsg.): 3,25 γ /1 ml

Kalzium:

Anodenraum (3 ml Lsg.): 0,157 mg/3 ml

Kathodenraum (3 ml Lsg.): 0,077 mg/3 ml

Da diese Werte trotz erhöhter Quantität und Eindampfung zu gering sind zur

genauen Feststellung und Auswertung - geringe Mengen schließen größere Fehler ein - dienen sie nur zum Beweis für das Austreten von Kalzium- und Phosphorionen durch elektrischen Schwachstrom. Die Mineralbestimmung nach 19 Tagen ergab folgende Werte:

Zahn /3

Phosphor:

Anodenraum (1 ml Lsg.): 9,775 μ /1 ml

Kathodenraum (1 ml Lsg.): 5,4 μ /1 ml

Kalzium:

Anodenraum (3 ml Lsg.): 0,185 mg/3 ml

Kathodenraum (3 ml Lsg.): 0,068 mg/3 ml

Zahn /4

Phosphor:

Anodenraum (1 ml Lsg.): 15,5 μ /1 ml

Kathodenraum (1 ml Lsg.): 3,8 μ /1 ml

Kalzium:

Anodenraum (3 ml Lsg.): 0,244 mg/3 ml

Kathodenraum (3 ml Lsg.): 0,072 mg/3 ml

Diese Werte ergaben sich aus der Lösung von 80 ml, die auf 10 ml eingedampft wurde.

Wegen des geringen Kalzium- und Phosphorgehaltes wurde die Mineralbestimmung der gesammelten Anoden- und Kathodenraumlösungen der Zähne /5, /4, 4/ nur einmal - am Ende des Versuches - durchgeführt.

Zur Phosphorbestimmung wurden die Lösungen nicht eingedampft. Zur Kalziumbestimmung wurden von jeder Lösung 150 ml abpipettiert, auf 10 ml eingedampft, wovon 2 ml zur Bestimmung verwandt wurden.

Zahn /5

Phosphor:

Von 150 ml Anodenraumlösung wurden 2 ml, von 190 ml Kathodenraumlösung wurden 4 ml zur Phosphorbestimmung abpipettiert.

Anodenraum (2 ml Lsg.): 14,9 μ /2 ml

Kathodenraum (4 ml Lsg.): 6,225 μ /4 ml

Kalzium:

Anodenraum (2 ml Lsg.): 0,334 mg/2 ml

Kathodenraum (2 ml Lsg.): 0,132 mg/2 ml

Zahn $\overline{47}$

Phosphor:

Von 200 ml Anodenraumlösung wurden 2 ml, von 240 ml Kathodenraumlösung wurden 4 ml abpipettiert.

Anodenraum (2 ml Lsg.): 6,55 γ /2 ml

Kathodenraum (4 ml Lsg.): 6,94 γ /4 ml

Kalzium:

Anodenraum (2 ml Lsg.): 0,230 mg/2 ml

Kathodenraum (2 ml Lsg.): 0,103 mg/2 ml

Zahn $\overline{47}$

Phosphor:

Von 200 ml Anodenraumlösung wurden 2 ml, von 250 ml Kathodenraumlösung wurden 4 ml abpipettiert.

Anodenraum (2 ml Lsg.): 7,9 γ /2 ml

Kathodenraum (4 ml Lsg.): 4,975 γ /4 ml

Kalzium:

Anodenraum (2 ml Lsg.): 0,220 mg/2 ml

Kathodenraum (2 ml Lsg.): 0,084 mg/2 ml

Aus den angegebenen Werten können wir trotz der geringen Mengen einen Unterschied zwischen Anoden- und Kathodenraum insofern ersehen, als die ausgeschiedenen Kalzium- und Phosphormengen im Anodenraum erhöht sind, ausgenommen der Phosphorgehalt bei Zahn $\overline{47}$, der im Kathodenraum gegenüber dem Anodenraum um 0,39 γ erhöht ist.

f) Gewichtsbestimmung

Gewichtsbestimmungen der "NaCl-Zähne", die mit der Mikrowaage (Torsionswaage T 11 nach Prof. Gorbach) mit einer Genauigkeit von 0,02 mg vor und nach Ablauf des Versuches durchgeführt wurden, zeigten deutlich eine Gewichtsabnahme von durchschnittlich 1 mg.

Diese Bestimmung beweist ebenfalls wie der Kalzium- und Phosphornachweis in dem Elektrolyten die durch den elektrischen Strom bewirkte Demineralisation der Zähne.

g) Ergebnisse der makroskopischen Untersuchung der Zähne

Da durch den Vorversuch keine Defektbildung oder Schmelzrisse festgestellt

werden konnten, sondern lediglich eine Entkalkung zu erkennen war, wurden die Zähne 3 und 4 während des Hauptversuches nur einmal - nach 23 Tagen - unter dem Binocular untersucht. An beiden Zähnen trat eine Entkalkung ein, die eine mit einer Sonde abkratzbare Schicht über der Zahnkrone zur Folge hatte, die wahrscheinlich größtenteils aus Kalzium-Karbonaten und Kalzium-Phosphaten bestand. Die Binocular-Betrachtung der Zähne 5, 4, 4 ergab das gleiche Ergebnis (Abb. 7).

4. Versuchsverlauf an kariesfreien Zähnen in Speichel und Strom

Die Apparatur zu dieser Versuchsreihe stimmt mit der oben beschriebenen überein. Zahn 8, Zahn 4, Zahn 8 waren für die Korrosionsversuche mit Speichel bestimmt. Der Speichel, der nüchtern mit Hilfe von Kau-Paraffin als Reizspeichel von Person A für Zahn 8, von Person B für die Zähne 4 und 8 abgegeben wurde, wurde ebenfalls täglich erneuert, nachdem er 1-2 Stunden in einem Reagenzglas aufbewahrt wurde, um ein Absetzen der Speichelsedimente zu ermöglichen.

a) Messung der Stromstärke

Die Strommessung, die auch 10 Minuten nach jeder Erneuerung sowie nach 24 Stunden Stromdurchfluß erfolgte, zeigte ebenfalls einen Stromstärkenabfall. Die Durchschnittswerte A (anfängliche Stromstärke) und B (nach ungefähr 1-tägigem Stromdurchgang) sind in Tabelle 2 wiedergegeben:

	Zahn <u>8</u>	Zahn <u>4</u>	Zahn <u>8</u>
A	11 μ A-19 μ A	11 μ A-16 μ A	6 μ A-10 μ A
B	8 μ A-16 μ A	6 μ A-10 μ A	3 μ A- 9 μ A

Tabelle 2

Eine beiliegende Kurve, Abb. 8, läßt den Stromstärkenabfall deutlich erkennen.

Ein Unterschied zwischen NaCl und Speichel war insofern festzustellen, als



Abb. 7: Makroskopisch sichtbarer Niederschlag über den Kronen
der Zähne $\sqrt{4}$ und $\angle 5$

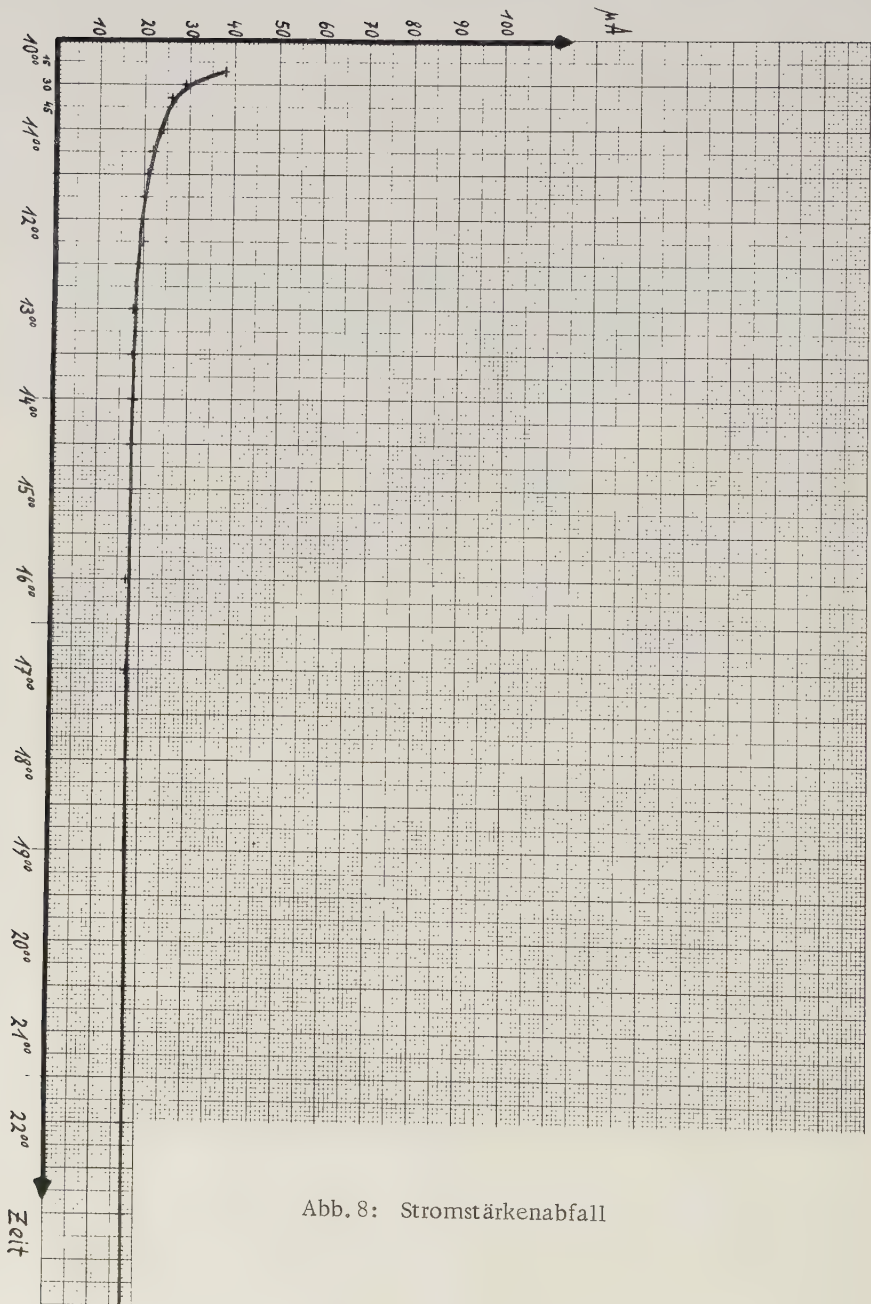


Abb. 8: Stromstärkenabfall

die Stromstärke der Speicheldröhrchen nie die Größe der Stromstärke der NaCl-Röhrchen erreichte, sondern deutlich unterhalb lag.

Infolge der wechselnden Speichelverhältnisse konnte keine pH-Messung erfolgen, da eine solche vor jeder sowie nach jeder Erneuerung nötig gewesen wäre.

Kalzium- und Phosphorbestimmung waren undurchführbar, da der Speichel der Zersetzung wegen nicht aufbewahrt werden konnte und die Ausführung einer täglichen Mineralbestimmung nicht möglich war.

b) Ergebnisse der makroskopischen Untersuchung der Zähne

Defektbildung, Schmelzrisse, Vertiefung der Fissuren, Zunahme an Verfärbung konnten bei dieser Versuchsreihe ebenfalls nicht festgestellt werden. Im Gegensatz zu den "NaCl-Zähnen" wurde kein makroskopisch sichtbarer Niederschlag beobachtet (Abb. 9).

Da es meine Aufgabe ist, einmal Karies oder kariesähnliche Defekte durch elektrischen Schwachstrom nachzuweisen (nach der RHEINWALDSchen Korrosionstheorie), zum anderen Karies durch Bakterien zu erzeugen, wurde eine Versuchsreihe an kariesfreien Zähnen in Speichel und Glukose im Brutschrank durchgeführt.

5. Versuchsverlauf an kariesfreien Zähnen in Speichel und Glukose im Brutschrank

Zu diesem Versuch wurden, wie oben angegeben, 6 Zähne verwandt, und zwar $\overline{87}$, $\overline{87}$, $\overline{87}$, $\overline{18}$, $\overline{57}$, $\overline{15}$, die ebenfalls zuerst unter dem Binocular auf Schmelzbeschaffenheit untersucht wurden. Nach Einstellen des Brutschranks auf 37 Grad und nach Ansetzen der Glukose-Lösung (200 g Glukose auf 1000 ml Aqua dest.) wurde mit dem Vorversuch begonnen. der schon nach 5 Tagen von dem Hauptversuch abgelöst wurde. Die Zähne, deren Wurzeln von einer Wachsmanschette umgeben waren, die den Angriff der durch Gärung entstehenden Milchsäure auf das Wurzelzement verhindern sollte, lagen in einer 5%igen Lösung, bestehend aus 1 ml 20%iger Glukoselösung und 3 ml Speichel. Für je 3 Zähne wurde der Speichel von den Personen A und B geliefert. Den Lösungen, die nach Ausspülen der Röhrchen mit Aqua dest. täglich erneuert wurden, wurde verdünnte Essigsäure bis zu dem Wert pH: 6 zugesetzt, da die Lactobazillen, die im Speichel enthalten sind, unter diesen Bedingungen optimales Wachstum entfalten können.

a) Versuchsergebnis

Schon nach 24 Stunden zeigte sich an den Höckern von Zahn $\overline{8/}$ sowie approximal an Zahn $\overline{5/}$ beginnende Entkalkung. Nach dem zweiten Versuchstag ließ sich an allen Versuchszähnen beginnende Entkalkung nachweisen. Die Versuche wurden nach 19 Tagen abgebrochen, nachdem sämtliche Zahnkronen starke Entkalkung aufwiesen und ein deutlicher Entkalkungsrand zum Wurzelzement hin sichtbar war (Abb. 10).

6. Histologische Versuchsergebnisse

Um histologische Untersuchungen anstellen zu können, mußten von allen Versuchszähnen Schliffe angefertigt werden. Dazu diente der "Apparat zur Herstellung unentkalkter Serienschnitte menschlicher Zähne" (28). Die Schliffe, die eine Stärke von etwa 150μ aufweisen, wurden mit Fuchsin eingefärbt und unter dem Mikroskop (Zeiß, Photomikroskop) auf Karies untersucht und photographiert.

a) Untersuchung der "NaCl-Zähne"

Bei Betrachtung aller Schliffe dieser Versuchsreihe konnte man an einigen Stellen das Hervortreten der Retziusstreifen sowie Einbrüche im Schmelz beobachten, die dem Bild einer chronischen Karies ähneln. Der Schmelz ist überall, jedoch nicht gleichmäßig entkalkt (Abb. 11 und 12).

b) Untersuchung der "Speichel-Zähne"

Die histologische Betrachtung der "Speichel-Zähne" ergab ebenfalls eine Entkalkung im Schmelz, die nicht den gesamten Schmelzanteil gleichmäßig betrifft, sondern zumeist stellenweise aufzufinden ist. Der Schmelzrand ist an einigen Stellen unterbrochen und ausgezackt, besonders in Nähe der Schmelzlamellen. Retziusstreifen treten verstärkt hervor (Abb. 13).

c) Untersuchung der "Brutschrank-Zähne"

Die histologische Untersuchung der Zähne dieser Versuchsreihe ergab auch eine ungleichmäßige, nicht homogene Entkalkung des Schmelzes sowie Schmelzdefekte, die Ähnlichkeit mit Initialkaries aufweisen (Abb. 14 und 15).



Abb. 9: Kein makroskopisch sichtbarer Niederschlag der Krone von Zahn $\overline{8}$
im Vergleich zu Abb. 7

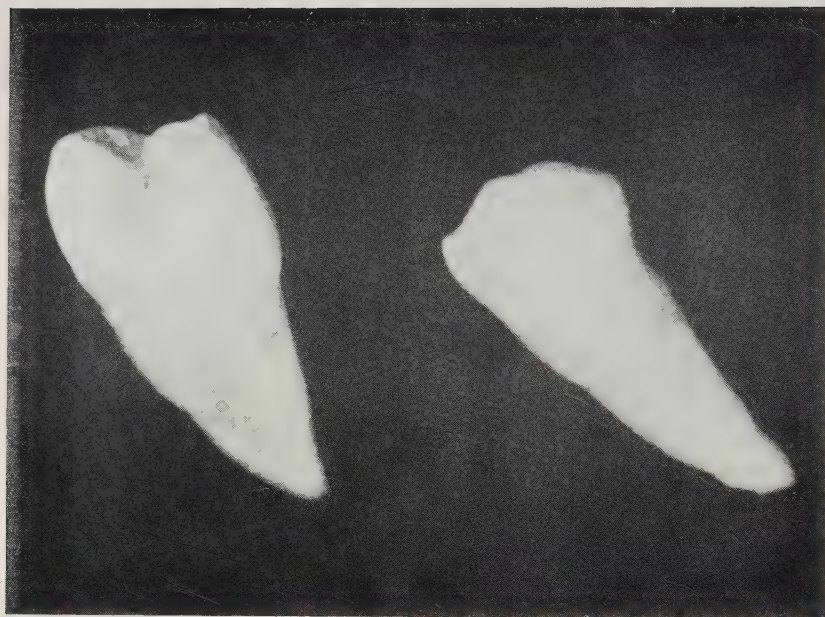


Abb. 10: Makroskopisch sichtbare Entkalkung der Kronen von Zahn $\overline{87}$
und Zahn $\overline{57}$

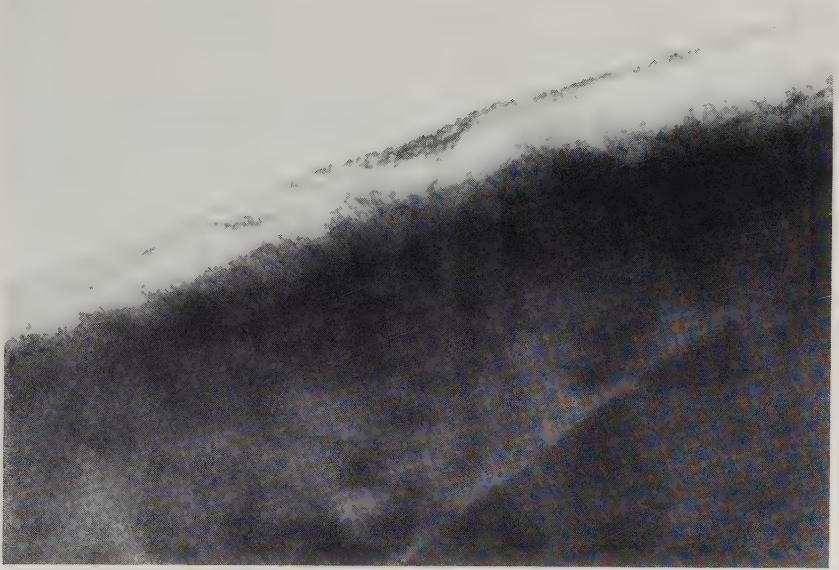


Abb. 11 zeigt einen Schmelzdefekt (Zahn 5)
Maßstab: 25 : 1

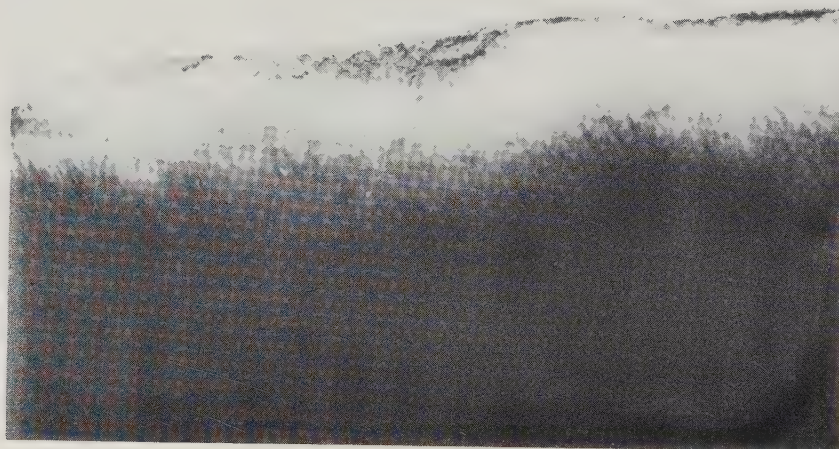


Abb. 12 zeigt denselben Schmelzdefekt wie Abb. 11
Maßstab: 40 : 1

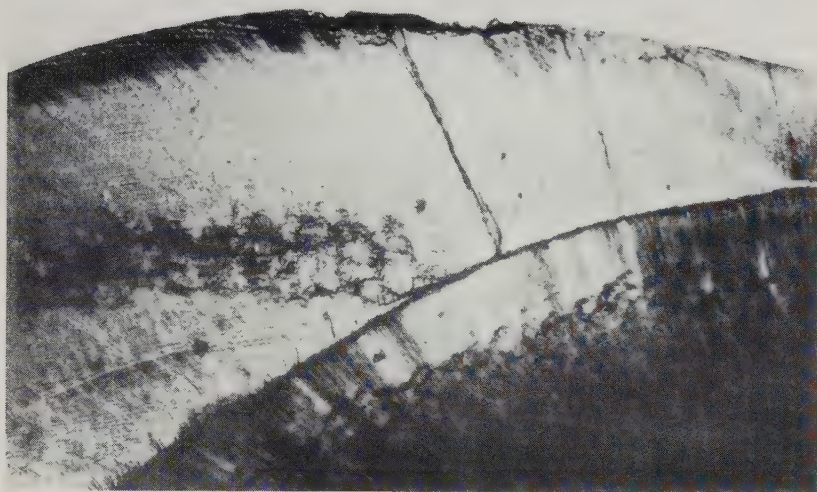


Abb. 13 zeigt einen ausgezackten Schmelzrand (Zahn 8/)
Maßstab: 10 : 1

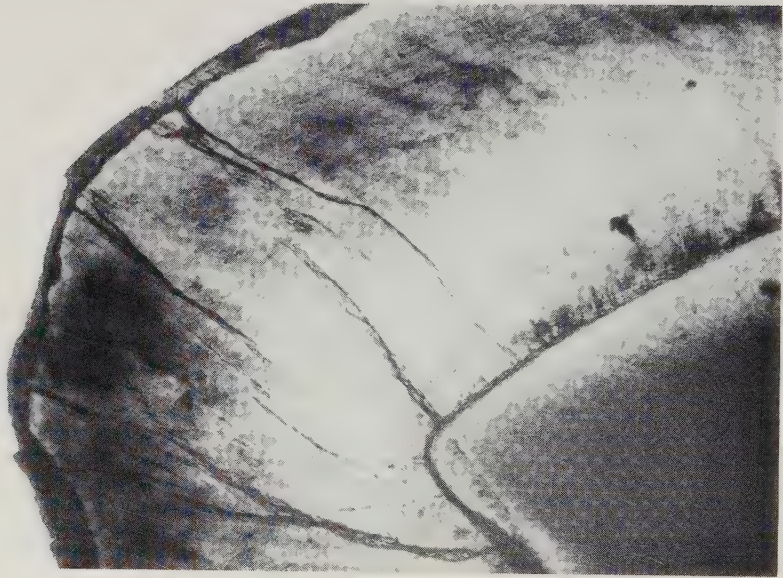


Abb. 14: Schmelzeinbruch in Nähe der Lamellen (Zahn 87)
Maßstab: 10 : 1

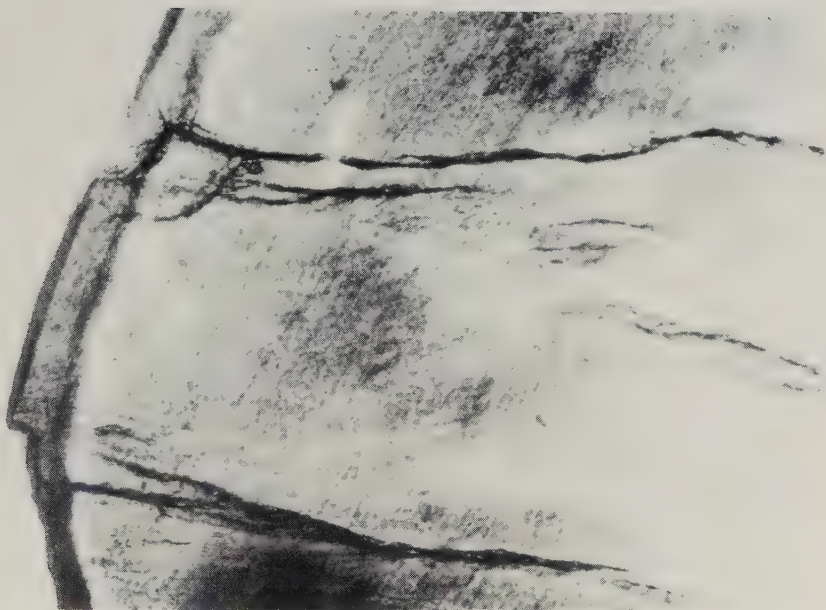


Abb. 15 zeigt denselben Schmelzdefekt wie Abb. 14

Maßstab: 25 : 1

IV. PHYSIKALISCHE ERLÄUTERUNGEN

Zum Verständnis der Versuchsergebnisse bedarf es physikalischer Erklärungen, die anschließend ausgeführt werden sollen.

Sobald Säuren, Basen, Salze in Wasser gelöst werden, dissoziieren sie, wobei das Kation elektrisch positiv, das Anion elektrisch negativ geladen ist. Z. B.: $\text{NaCl} \longrightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$.

Einen solchen Zerfall in elektrisch entgegengesetzt geladene Teilmoleküle, Ionen, nennt man elektrolytische Dissoziation, deren Ursache in der außerordentlich großen Dielektrizitätskonstante des Wassers zu suchen ist. Elektrolytische Dissoziation kommt also ohne elektrischen Strom zustande (Abb. 16).

Sobald durch eine wäßrige Lösung einer Säure, eines Salzes, einer Base elektrischer Strom geleitet wird, werden die Ionen infolge der angelegten Spannung von den entgegengesetzt geladenen Elektroden, den den Strom zuführenden Drähten oder Platten, angezogen, wo sie nach Abgabe ihrer Ladung in den ungeladenen Zustand übergehen. Durch den elektrischen Strom findet also eine Wanderung der Ionen statt, eine Entladung der Ionen und eine damit verbundene Zersetzung der Säure, der Base, des Salzes. Die Zersetzung wird Elektrolyse genannt (Abb. 17).

Als Beispiel dient unsere 1%ige NaCl-Lösung.

(10 g Natrium chloratum in 1000 ml Aqua dest. gelöst).

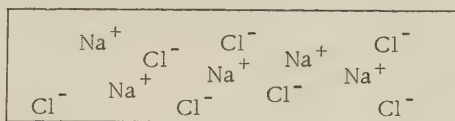


Abb. 16: Elektrolytische Dissoziation

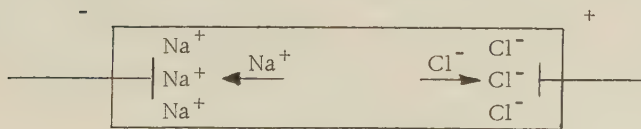


Abb. 17: Elektrolyse

Da viele Elemente nach der Entladung im atomaren Zustand nicht existenzfähig sind, gehen sie in den molekularen Zustand über, oder sie gehen sekundäre Prozesse mit Wasser ein, d. h. auf unseren Elektrolyt NaCl übertragen, daß folgende Verbindungen entstehen:



Salzsäure kann nicht entstehen, da $\text{Cl}_2 + \text{H}_2$ sich nur unter dem Einfluß von Lichtenergie zu Salzsäure verbinden.

An Hand dieser Feststellungen finden wir eine Erklärung für das Auftreten eines basischen pH-Wertes im Kathodenraum; durch welche Ereignisse der pH-Wert im Anodenraum leicht sauer reagiert, ist nicht ganz geklärt, da das Chlorwasser neutral ist.

Der Schmelz besteht zum größten Teil aus Hydroxylapatit $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}_2)$. Ionen des Schmelzes, die durch die angelegte Spannung wandern, gehen wahrscheinlich nach ihrer Entladung an den Elektroden Verbindungen ein, die einen sauren pH-Wert bedingen.

Der Stromabfall nach ungefähr 1-tägigem Stromdurchfluß ist durch das Auftreten von Polarisation zu erklären. Unter Polarisation versteht man eine durch elektrischen Strom in einem Elektrolyten bewirkte chemische Veränderung der Elektrode, die eine entgegengesetzt gerichtete Spannung, die Polarisationsspannung, und einen entgegengesetzt gerichteten Strom, den Polarisationsstrom hervorruft. Die H-Ionen wandern zur Kathode, geben ihre Ladung ab und gehen aus dem Ionenzustand in elementaren Wasserstoff über, der sich an der Kathode niederschlägt und diese mit einer Wasserstoffhaut überzieht. Die Anode wird von einem Cl-Mantel überzogen. Durch den der angelegten Spannung entgegengesetzt gerichteten Strom wird die anfängliche Stromstärke herabgesetzt, bis eine vollkommene Polarisation eingetreten ist. Diese Tatsache ist an den Kurven zu erkennen. Die abweichenden Werte in der Kurve könnte man mit dem Auftreten von Luftbläschen an den Elektroden zu erklären versuchen.

In unserem Versuch findet eine Trennung der NaCl-Lösung durch den mit der Gummimanschette versehenen Zahn statt, wodurch ein Anoden- und ein Kathodenraum entsteht. Die Na-Ionen wandern im Kathodenraum zur Kathode, die Cl-Ionen werden abgestoßen in Richtung Wurzelspitze; im Anodenraum wandern die Cl-Ionen zur Anode, die Na-Ionen zur Zahnkrone hin, so daß an der Wurzelspitze eine negative, an der Zahnkrone eine positive Raumladung sitzt (Abb. 18).

Der Kalziumniederschlag am Zahn ist folgendermaßen zu erklären: Durch die angelegte Spannung wandern auch die Ionen und Elektronen im Zahn selbst (Abb. 19).

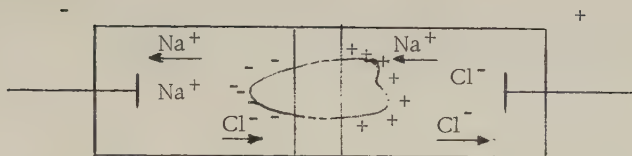


Abb.18: Elektrolytische Wanderung der Na- und Cl-Ionen

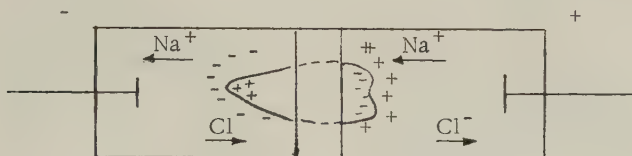


Abb.19: Ionenwanderung im Zahn

Zum Teil werden sie sich mit den Raumladungen neutralisieren, schwerlösliche Ionen werden am Zahn haften bleiben. Durch die Ionenwanderung im Zahn wird der Zahn zum Dipol. Es müßte auch hier eine Polarisation auftreten; Ca-Ionen, die positiv sind, müßten eigentlich zur Kathode wandern; da die Krone aber im Anodenraum liegt, die Ca-Ionen zum größten Teil nicht durch den ganzen Zahn wandern können - man stellt sich vor, daß sie durch den ganzen Zahn verteilt sind und die Anzahl der Ionen sich in Richtung Wurzelspitze verringert - treten sie infolge der negativen Ladung an der Zahnkrone - als Dipol - aus, gehen zum Teil in Lösung und schlagen sich sofort an der Zahnkrone nieder.

Durch die chemische Untersuchung kann nur eine geringe Ca-Menge nachgewiesen werden, die im Anodenraum gegenüber dem Kathodenraum erhöht ist, ein Beweis, daß nur wenige Ca-Ionen in Lösung gehen. Die Untersuchung unter dem Binocular zeigt deutlich den amorphen Kalziumniederschlag.

V. POLARISATIONSVERSUCH

a) Apparatur

Als Apparat diente ein aus Plexiglas bestehendes Röhrchen mit abschraubbaren Seitenwänden, die nach unten verlängert waren und dadurch dem Röhrchen Halt gewährten. Je zwei Öffnungen für Elektroden und die die Zahnober-

fläche abtastenden Metallstäbchen, sog. Sonden, waren an der oberen Seite des Röhrchens angebracht.

b) Versuchsverlauf

Zunächst wurde ein von einer Gummimanschette umgebener Zahn der "NaCl-Versuchsreihe" in das Röhrchen gebracht und die dadurch entstandene hermetische Trennung der beiden Räume mit Aqua dest. geprüft. Sodann wurden Anoden- und Kathodenraum mit 1%iger NaCl-Lösung angefüllt und eine Spannung von 2 Volt angelegt (Akku). Auswechseln der Lösung erfolgte unter oben ausgeführten Bedingungen. Nach 2-tägigem Stromdurchfluß wurde der Versuch zur Polarisationsprüfung folgendermaßen ausgeführt:

Nach Abnehmen der Elektroden und Ausgießen der Flüssigkeit wurden die Sonden, die an ein hochempfindliches Meßinstrument angeschlossen waren, auf die Kronen- und Wurzeloberfläche aufgesetzt (Abb.20). Obwohl die Krone nach oben ausgeführten Erklärungen negativ sein müßte, schlug das Instrument nach der positiven Seite aus, was sich auf das Ansammeln der positiven Kalziumionen auf der Krone zurückführen läßt.

VI. DISKUSSION

Bezugnehmend auf die Karies als Korrosionserscheinung nach RHEINWALD ist es nötig, zuerst den Begriff der Korrosion zu erklären. Nach RÖMPP (27) ist Korrosion folgendermaßen definiert:

"Nach den Mitteilungen des Reichsausschusses für Metallschutz versteht man unter Korrosion die durch unbeabsichtigten, von der Oberfläche ausgehenden chemischen oder elektrochemischen Angriff hervorgerufene Veränderung an Metallen. Der "natürliche" Zustand der unedlen Metalle ist nicht der elementare Metallzustand, sondern die chemische Verbindung (wie z.B. die Oxydform, Hydroxydform, Carbonatform), daher gehen alle ungeschützten, unedlen Metalle auf unserer Erdoberfläche unter dem Einfluß von Luft, Wasser, Kohlendioxyd, Schwefeldioxyd usw. mehr oder weniger schnell von der Oberfläche her in Oxyde, Hydroxyde, Carbonate usw. über - also in Stoffe, die uns auch in der freien Natur vielfach in Form von Mineralien, Erzen usw. entgegentreten. Diese Verbindungen sind beständig; sie können viele Jahrmillionen überdauern. Die wichtigste Rolle spielt die Korrosion beim Eisen, dem weitaus häufigsten Gebrauchsmetall, wo sie als Rosten bezeichnet wird.

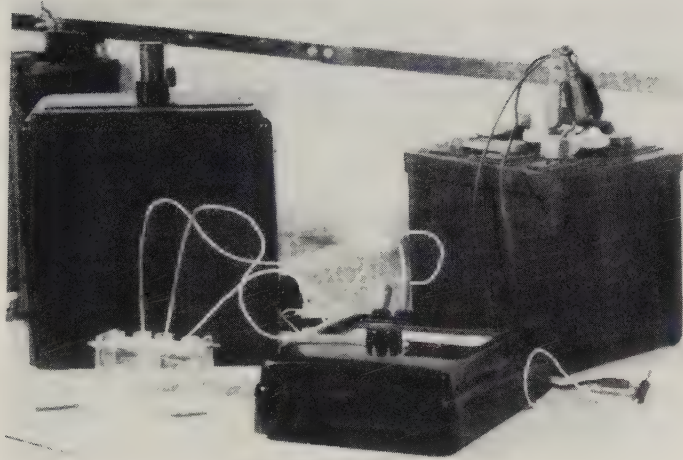


Abb. 20: Polarisationsversuch

Die Rostung des Eisens ist also ein Spezialfall der Korrosion, letztere tritt bei allen unedlen Metallen in sehr verschiedenem Tempo auf. Die edlen Metalle (Gold, Silber, Platin) korrodieren nicht oder nur äußerst langsam; hier ist die Metallform sozusagen der beständige, natürliche Zustand; deshalb findet man die Edelmetalle in der Natur auch meist gediegen (d.h. rein als Element), aus dem gleichen Grund zersetzen sich Edelmetallverbindungen (z. B. Silbernitrat) in der freien Natur allmählich unter Metallabscheidung. Um die Korrosion einzuschränken und die unedlen Metalle beständiger zu machen, werden viele Korrosionsschutzmaßnahmen getroffen."

RHEINWALD gibt folgende Definition der Korrosion:

Korrosion ist ein ungewollter chemisch-physikalischer Prozeß, der sich innerhalb der Materie oder an der Grenzfläche zwischen zwei Materialien abspielt.

Vorhanden sein müssen:

1. ein Elektrolyt (Speichel),
2. Substanzen mit Stellen verschiedenen elektrischen Potentials.

Bei der Untersuchung der Entstehungsmöglichkeit bioelektrischer Potentiale in der Mundhöhle schaltet RHEINWALD den piezoelektrischen Effekt (Elektrizität durch interkristallinen Kristalldruck) aus. Er unterscheidet, wie im ersten Teil angegeben:

1. Aktionsströme,
3. Thermostrome,
3. Statische Elektrizität.

Des weiteren soll die Frage beantwortet werden, durch welche Überlegungen RHEINWALD zu dem Ergebnis kam, Karies mit Korrosion gleichzusetzen.

Nach RHEINWALD ist die "Karies der Zähne ein Zerstörungsvorgang an einer im Organismus befindlichen mineralischen Substanz". In der Tatsache, daß von der Karies nur Substanzen befallen werden, die keine Symptome organischen Lebens aufweisen, sieht RHEINWALD einen zwingenden Grund, die Karies mit Zerstörungsvorgängen an anderen unbelebten Substanzen zu vergleichen.

Der Autor nimmt einen kausalen Zusammenhang an zwischen Karies und metallischer Zerstörung, da Brückenpfeiler und deren Nachbarzähne sowie Klammerzähne weit über dem Durchschnitt von der Karies befallen werden.

Wie ist ein erhöhter Kariesbefall von Brückenpfeilern und Klammerzähnen zu erklären?

Wenn eine Krone keinen einwandfreien Abschluß zur Gingiva bildet oder sich

im Laufe der Zeit eine Retraktion der Gingiva einstellt, ist die Möglichkeit einer vermehrten Retention von Speiseresten in dem Gebiet zwischen Krone und Gingiva gegeben. Die Entstehung von Gärungssäuren mit nachfolgender Entkalkung der Zahnhartsubstanz ist in vermehrten Mengen möglich. Klammerzähne weisen erhöhten Kariesbefall auf, da Klammern Plaquesbildungen begünstigen, besonders in der Rille zwischen Klammer und Prothesenrand.

RHEINWALD lehnt die Kariesentstehung durch Einwirkung von Säuren ab, da "weder Bakterien noch bei der Nahrungsaufnahme entstehende Gärungs- und Verdauungsprodukte in der Lage sind, Säuren in einer Konzentration zu bilden, die stark genug wären, den Schmelz anzugreifen."

Selbst wenn eine Säurebildung nur in geringen Mengen stattfindet, besteht die Möglichkeit einer entkalkenden Wirkung bei Einwirken der Säure auf längere Zeit hin.

RHEINWALD schließt Kariesentstehung durch Bakterien aus, da sich unter dem bakterienhaltigen Zahnstein keine Karies bildet.

Welche Ursachen wirken einer Kariesentstehung an zahnsteinhaltigen Zähnen entgegen?

Zahnstein, ein alkalischer Niederschlag aus dem Speichel, der sich an den Zähnen, besonders in der Nähe der Ausführungsgänge der Speicheldrüsen, ansetzt, besteht besonders aus phosphorsaurem und kohlensaurem Kalk, Mucin, Schleimkörperchen, abgestoßenen Epithelzellen und Mikroben. Zahnstein wirkt als Barrikade gegenüber Kohlenhydraten, so daß eine Retention von Kohlenhydraten an den Zähnen ausgeschlossen ist; außerdem puffert er gebildete Säuren, so daß eine Säurewirkung auf den Zahn unmöglich ist.

Die theoretischen Erwägungen, Karies mit Korrosion gleichzusetzen, führten RHEINWALD zur experimentellen Durchführung einer Versuchsreihe.

Er gibt eine Stromstärke von 2 Volt an.

Treten in der Mundhöhle Ströme von 2 Volt auf?

RHEINWALD selbst schreibt folgendes: "Bei Messungen zeigte es sich, daß zwischen den einzelnen Zähnen einer jeden Mundhöhle Potentialdifferenzen nachweisbar sind. Unter physiologischen Verhältnissen lagen die Werte zwischen 10 und 80 mVolt. Messungen an verschiedenen zahnärztlichen Materialien innerhalb der Mundhöhle ergaben Werte bis zu mehreren 100 mVolt."

SCHRIEVER und DIAMOND (32) kamen zu dem Ergebnis, daß die Spannung zwischen 30 mVolt und Werten, die über 1 Volt hinausgehen, schwankt. Dazu gibt RHEINWALD folgendes an: "Die von uns gemessenen Werte bewegen

sich in der gleichen Größenordnung wie die Messungen von SCHRIEVER, DIAMOND, BECKSTRÖM u. a."

GRASSER (31) hat durch experimentelle Untersuchungen über Spannungsdifferenzen durch Metallegierungen festgestellt, daß frisch angerührtes Amalgam Anfangspotentialdifferenzen von über 950 mV ergibt. Mit Beginn der Erhärtung trete ein Spannungsabfall ein, der nach ca. drei Stunden auf 280 bis 450 mV abgesunken sei.

RHEINWALD (23) hat in seinen Vorversuchen "deutlichen Lochfraß" festgestellt. Als Ergebnis seines Hauptversuches gibt er z. B. an einem kariesfreien, jugendlichen Weisheitszahn eine Entkalkungszone mit "Loch" an, an anderen Zähnen stellte er Vertiefung der Fissuren sowie großen Schmelzverlust fest; bei Zähnen mit beginnender Karies beschreibt er Vertiefungen der Karies.

Makroskopisch ließ sich an den "NaCl-Zähnen" meiner Versuchsreihe kein Schmelzverlust und keine Vertiefung der Fissuren feststellen, sondern ein die gesamte Zahnkrone bedeckender, abkratzbarer Niederschlag.

Als Zusammenfassung seiner Korrosionstheorie schreibt der Autor folgendes: "In mehreren Versuchsreihen konnte gezeigt werden, daß es gelingt, mit elektrischen Schwachströmen am Zahn Korrosionserscheinungen hervorzubringen, die das gleiche Bild zeigen wie die kariöse Zerstörung in der Mundhöhle. Untersuchungen innerhalb der Mundhöhle und theoretische Überlegungen über das elektro-biologische Verhalten der Zahnschmelzsubstanz im Speichel als Elektrolyten lassen die Deutung der Karies als eines Korrosionsvorganges zu."

BEYER (33) hat ebenfalls "Untersuchungen über die Korrosionstheorie der Kariesentstehung nach RHEINWALD" durchgeführt. Er stellt die Säurewirkung in den Vordergrund und lehnt an Hand seiner Versuchsergebnisse die Karies als Korrosionserscheinung vollkommen ab. "Allein in der Wirkung der Säure liegt der Substanzverlust der Zähne."

Der Anoden-pH-Wert sei innerhalb von 24 Stunden nach der sauren Seite hin abgefallen, was auch wir während der Durchführung unserer Versuche feststellen konnten. Bei Zusatz von Sörensen'schem Phosphatpuffer (KH_2PO_4) beschreibt BEYER einen völlig neutralen pH-Wert nach 24 Stunden Versuchsdauer. Eine Kalziumausfällung sei nicht möglich gewesen.

BEYER hat dabei nicht berücksichtigt, daß die Elektroden durch den Sörensen'schen Phosphatpuffer besetzt werden; die Anode durch PO_4 -Ionen, die Kathode durch K_2 - und H_2 -Ionen. Die Einwirkung des elektrischen Stromes auf den Zahn wird dadurch verhindert, auf die NaCl-Lösung vermindert.

Obwohl die Ergebnisse der makroskopischen Untersuchung mit den unseren übereinstimmen, sind die BEYERschen Ergebnisse kein Beweis, die RHEINWALDsche Korrosionstheorie abzulehnen, da eine histologische Untersuchung der Versuchszähne fehlt.

Versuche mit Speichel als Elektrolyt wurden nicht durchgeführt.

Histologische Untersuchungen über die Korrosionserscheinungen wurden von RHEINWALD ebenfalls nicht durchgeführt.

Die histologische Betrachtung meiner "NaCl-Versuchszähne" ergab kleine Schmelzdefekte, Hervortreten der Retziusstreifen und ungleichmäßige Entkalkung des Schmelzanteils.

Ob diese kleinen Defekte schon vor Beginn des Versuches vorhanden waren und der Lupenuntersuchung entgingen, kann nicht festgestellt werden. Da es sich bei meinen Zähnen um durchgebrochene, nicht retinierte Zähne handelt, ist die Möglichkeit eines schon bestehenden Defektes nicht ausgeschlossen. Vielleicht ist die geringe Änderung des Anoden-pH-Wertes nach der sauren Seite hin die Ursache für das Entstehen der kleinen Schmelzschädigungen.

Auch die histologische Untersuchung der "Speichel-Zähne" - diese Versuchsreihe wurde von RHEINWALD nicht durchgeführt - ergab Einbrüche im Schmelz in Nähe der Lamellen sowie abwechselnd stärkere und schwächere Entkalkungszonen. Makroskopisch konnte man keine Veränderung der Zahnkronen feststellen.

Auch bei dieser Versuchsreihe muß man die Frage nach einem schon bestehenden Defekt, durch kariöse Prozesse oder artifiziell bedingt, offen lassen.

Die Zähne meiner dritten Versuchsreihe (kariesfreie Zähne in Speichel und Glukose im Brutschrank) ließen makroskopisch einen Niederschlag erkennen; histologisch war kein Unterschied zu den ersten beiden Versuchsreihen festzustellen. Schmelzdefekte, Entkalkung und Hervortreten der Retziusstreifen erinnern auch hier an das Bild einer chronischen Karies.

Die Frage: Ist die Karies der Zähne in Korrosionserscheinungen zu sehen?, kann ich an Hand meiner Versuchsergebnisse nicht klären, da man das Vorhandensein von makroskopisch unsichtbaren Schmelzdefekten sowie eine Säurewirkung durch Änderung des pH-Wertes nicht ausschließen darf. Um zu einem klaren Ergebnis kommen zu können, müßte man die Zähne vor Beginn des Versuches halbieren und die Schmelzbeschaffenheit unter einem Aufsichtsmikroskop untersuchen und photographisch festlegen. Die histologische Betrachtung nach Durchführung des Versuches dürfte sich nur auf dieselben Stellen beschränken.

Wir können die RHEINWALDsche Korrosionstheorie weder bejahen noch verneinen. Selbst wenn man schon vor Versuchsbeginn vorhandene Schmelzschädigungen ausschließt, muß man sich im klaren darüber sein, daß der in der Mundhöhle stattfindende Korrosionsprozeß ein sehr langsam verlaufender Vorgang ist, der sich experimentell nur schwierig nachweisen lassen wird.

VII. ZUSAMMENFASSUNG

Die Aufgabe und das Ziel meiner Arbeit bestand in der Überprüfung der Kariestheorie von RHEINWALD, der die Karies als Korrosionserscheinung erklärt.

Die durchgeführte Versuchsreihe wurde in 3 Gruppen eingeteilt:

1. Gruppe: Versuchsverlauf an kariesfreien Zähnen in dem Elektrolyten NaCl
Zahl der Versuchszähne: 5
2. Gruppe: Versuchsverlauf an kariesfreien Zähnen in Speichel und Strom
Zahl der Versuchszähne: 3
3. Gruppe: Versuchsverlauf an kariesfreien Zähnen in Speichel und Glukose im Brutschrank
Zahl der Versuchszähne: 6

Ad 1:

Die Versuchsanordnung zur Erzeugung von Karies nach der RHEINWALDschen Korrosionstheorie stimmte mit der RHEINWALDschen Angabe überein. Ein von einer Gummimanschette umgebener Zahn wurde in die Mitte eines starkwandigen Glasröhrchens fest eingekeilt, so daß zwei hermetisch getrennte Räume entstanden: Anoden- und Kathodenraum. Als Elektroden dienten Platinspiralen, der Elektrolyt bestand aus einer 1%igen NaCl-Lösung. Ein Akkumulator, als Stromquelle, versorgte das Röhrchen mit einer Spannung von 2 Volt. Die Versuchszeit betrug 42 Tage.

Alle Zähne wurden vor Beginn des Versuches unter einem Binocular auf ihre Schmelzbeschaffenheit untersucht, die NaCl-Lösung wurde täglich erneuert, um eine Änderung des pH-Wertes zu vermeiden.

Vor jeder Flüssigkeitserneuerung sowie 10 Minuten nach jeder Erneuerung wurde die Stromstärke gemessen. Der Stromstärkenabfall innerhalb von 24 Stunden ist durch das Auftreten von Polarisation zu erklären.

Nach dem täglichen Abpipettieren der Lösungen wurde der pH-Wert sowohl vom Anoden- als auch vom Kathodenraum gemessen.

Der basische pH-Wert im Kathodenraum ist durch das Entstehen von NaOH bedingt; die zum Teil schwach saure Reaktion im Anodenraum ist nicht zu erklären, da durch die Elektrolyse keine Salzsäure entsteht, sondern neutral reagierendes Chlorwasser. Die pH-Wert-Änderung im Anodenraum muß bei der Auswertung der Versuche berücksichtigt werden.

Die Phosphor- und Kalziumbestimmung, die im Anodenraum höhere Werte gegenüber dem Kathodenraum ergab - die Zahnkrone lag im Anodenraum - sowie der Gewichtsverlust von ca. 1 mg nach Durchführung des Versuches sind ein Beweis für das Auftreten einer Demineralisation.

Makroskopisch war ein mit einer Sonde abkratzbare Niederschlag über der gesamten Zahnkrone zu erkennen, der wahrscheinlich größtenteils aus Ca-Phosphaten und Ca-Karbonaten bestand.

Die histologische Untersuchung ergab eine ungleichmäßige Entkalkung des gesamten Schmelzanteils sowie Schmelzeinbrüche und Hervortreten der Retziusstreifen. Die histologische Betrachtung erinnerte an das Bild einer chronischen Karies.

Ad 2:

Die Versuchsanordnung entsprach der oben angeführten; als Elektrolyt diente Speichel, der ebenfalls täglich erneuert wurde.

Die Werte der Stromstärke und des Stromstärkenabfalls nach 24 Stunden lagen unterhalb der Werte der "NaCl-Zähne".

Messung des pH-Wertes sowie Kalzium- und Phosphorbestimmungen waren undurchführbar.

Die makroskopische Untersuchung ergab keine sichtbare Veränderung der Zahnkrone, ein Niederschlag wurde nicht festgestellt.

Histologisch waren ungleichmäßige Entkalkung des Schmelzes, kleine Auszackungen in der Schmelzkontur und stärkeres Hervortreten der Retziusstreifen zu erkennen.

Ad 3:

Nach der RHEINWALD'schen Korrosionstheorie sollte Karies durch elektrischen Schwachstrom erzeugt werden. In Ergänzung zu den oben angegebenen Versuchsreihen war es meine Aufgabe, Karies durch Bakterien zu erzeugen.

Die Versuchszähne lagen in einer 5%igen Lösung, bestehend aus 1 ml 20%iger Glukoselösung und 3 ml Speichel. Die Brutschrank-Temperatur betrug 37 Grad.

Schon nach 24 Stunden ließ sich makroskopisch an den Höckern der Zähne ein Niederschlag feststellen. Nach 19 Tagen Versuchsdauer kam es zu einer die gesamte Zahnkrone betreffenden Entkalkung.

Die histologische Auswertung ergab ebenfalls Entkalkung und Schmelzdefekte.

Zusammenfassend können wir keine endgültige Aussage über die Gültigkeit der RHEINWALDschen Korrosionstheorie geben, da wir das Vorhandensein von makroskopisch unsichtbaren Schmelzdefekten vor Versuchsbeginn sowie eine Säurewirkung durch Änderung des pH-Wertes im Anodenraum nicht ausschließen dürfen.

BEYER (33), der ebenfalls Untersuchungen über die Korrosionstheorie durchgeführt hat, lehnt die RHEINWALDsche Theorie ab und stellt die Säurewirkung in den Vordergrund. Seine Ergebnisse können trotz Übereinstimmung mit unserer makroskopischen Untersuchung nicht als Beweis herangezogen werden wegen der fehlenden histologischen Betrachtung.

Die Verschiedenheit von RHEINWALDs Versuchsergebnissen und meinen Feststellungen in bezug auf die makroskopische Auswertung gibt genügend Anlaß, das Problem "Karies als Korrosionserscheinung" durch Erweiterung der Versuchsreihe zu lösen.

Meine Versuchsergebnisse können nur als Anregung zur weiteren Forschung auf diesem Gebiet gewertet werden.

VIII. LITERATURVERZEICHNIS

1. MILLER, W. D. : Die Mikroorganismen der Mundhöhle.
Leipzig 1892 Thieme-Verlag
2. EULER, H. : Die Kariesätiologie.
München 1948 (Hanser-Verlag)
3. GINS, H. : Der gegenwärtige Stand der bakteriologischen Kariesforschung.
Med. Welt 31, 1079 (1939)
4. BUNTING, R. W. : Studies on the relation of bacillus acidophilus to dental caries.
J. Dent. Res. 8, 222 (1928)
5. GOADBY, K. W. : The mycology of the mouth.
London 1903
6. KLIGLER, J. : A biochemical study and differentiation of oral bacteria with special reference to dental caries.
J. allied Dent. Soc. 10, 141 (1915)
7. JAY, Ph. : Bacillus acidophilus and dental caries.
Amer. Dent. Assoc. 16, 230 (1929)
8. LAMMERS, Th. : Ernährung und Bakterienflora.
DZZ. 8, 55 (1953)
9. WOHINZ, R. : Über Versuche zur Kenntnis der primären Vorgänge bei der Zahnkaries.
D. Z. M. K. 2, 68 (1935)
10. GRETH, H. : Die Entwicklung der Karies am Niederrhein von der Steinzeit bis zur Gegenwart nach Untersuchungen an prähistorischen und historischen Schädeln.
Dtsch. zahnärztl. Wschr., Jg. 40, Nr 49/50 (1937)
11. HERRMANN, M. : Tierexperimentelle Untersuchungen über Ernährung und Zahnkaries, sowie die Auswirkung auf Zahnstruktur und Kariesdisposition.
DZZ, Jg. 8, H. 12, 61 (1953)

12. PORT-EULER: Lehrbuch der Zahnheilkunde.
München 1951 (Bergmann-Verlag)
13. MATHIS, H. : Caries Dentium.
Wien 1947 (Urban und Schwarzenberg)
14. EGGERS-LURA, H. : Die Enzyme des Speichels und der Zähne.
München 1949 (Hanser-Verlag)
15. WANNENMACHER, E. : in "Genese und Prophylaxe der Karies".
München 1950 (Hanser-Verlag)
16. NEUWIRTH, I. und W. H. SUMMERSON: The production of acids from glucose by
oral microorganisms: Lactic and pyrovic
acids.
J. Dent. Res. 30, 100 (1951)
17. PEDERSON, P. O. : Ernährung und Zahnkaries primitiver und
urbanisierter Grönländer.
Verh. Dtsch. Ges. Inn. Med. Wiesbaden (1939)
18. CZERNYEL, J. : Die Bedeutung der Phosphatasen in der Ka-
riespathogenese.
S. M. f. Z. 59, 91 (1949)
19. FORSHUFVUD, St. : Genese und Prophylaxe der Karies.
Z. M. K. 1950, H. 4
20. GOTTLIEB, B. : Dental Caries.
J. Dent. Res. 23, 141, 169 (1944)
21. ROZEIK, F. : Ein Beitrag zur Rolle des Speichels bei der
Karies.
DZZ, 10, 1542 (1955)
22. ROZEIK, F. : Die Bedeutung des Speichels für das Zahn-
system.
Zahnärztl. Praxis 8, H. 7 (1957)
23. RHEINWALD, U. : Die Karies der Zähne als Korrosionserschei-
nung.
Sammlung Meusser, Leipzig 1956
24. WALKHOFF-HESS: Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde.
(Geschichtl. Abriß der kons. Zahnheilkunde)

25. ROZEIK, F. : Kohlenhydrate und Kariesentstehung.
DZZ, 13, 66 (1958)
26. ROZEIK, F. : Xerostomie und Kariesgenese.
Med. Habil. Schrift, Mainz (1958)
27. RÖMPP, H. : Chemie-Lexikon.
Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart
Band I (1956)
28. BÜTTNER, W., CREMER, H. D. und HERRMANN, M.: Apparat zur Herstellung unentkalkter Serienschritte menschlicher Zähne.
DZZ, 11, H. 18, 1068 (1956)
29. SCKELL, O. : Physik-Repetitorium.
Marburg/Lahn, Verlag von Dr. O. Sckell
30. GRIMSEHL: Lehrbuch der Physik, Band II.
Verlag von Ernst Klett, Stuttgart
31. GRASSER, H.-H. : Experimentelle Untersuchungen über Potentialdifferenzen durch Metallegierungen, insbesondere durch noch nicht erhärtete Amalgame.
ZWR, 59, Nr. 17, 479 (1958)
32. RHEINWALD, U. : Neurale Störungsfelder durch galvanische Elemente im Mund.
Therapie der Herderkrankungen (Nauheimer Tagung 1953)
München 1954 (Hanser-Verlag)
33. BEYER, U. : Untersuchungen über die Korrosionstheorie der Kariesentstehung nach RHEINWALD.
Med. Dissertation, Kiel (1955)

Ich darf an dieser Stelle meinem sehr verehrten Lehrer Herrn Professor Dr. Dr. M. HERRMANN für die Überlassung des Themas und für die freundliche Unterstützung danken.

Ebenfalls danke ich Herrn Professor Dr. phil. Dr.ing. W. HERZOG für die mir zur Verfügung gestellte Versuchsanordnung und die Beratung bei der Durchführung meiner Versuche.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Privatdozent Dr. F. ROZEIK, der mir zu jeder Zeit mit seinem Rat und seiner Hilfe zur Seite stand.

LEBENS LAUF

Mechthild Schlubkowski, geb. am 23. Februar 1935 in Mainz.

Volksschulbesuch von Sept. 1941 bis Januar 1945 in Wörrstadt/Rhh., von September 1945 bis April 1946 in Wolfsheim/Rhh.

Von Mai 1946 bis Ostern 1950 Oberschule für Jungen in Sprendlingen/Rhh., seit Ostern 1950 Besuch der Staatlichen Elisabeth-Charlotte-Schule in Bad Kreuznach, wo im März 1954 das Abitur stattfand.

Seit Mai 1954 Studium der Zahnheilkunde an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz; im November 1955 Physikum; im April 1956 Kleines Latinum.

Von Mai 1956 bis Ende des Sommersemesters 1957 Studium an der Philipps-Universität in Marburg/Lahn. Seit Wintersemester 1957/58 wieder in Mainz. Im Oktober 1959 Staatsexamen; seit dieser Zeit an der Universitäts-Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten tätig.

